

# **Träbroar**

## **Dimensionering av tvärspänd plattbro**

Simon Öst

Examensarbete för ingenjör (YH)-examen

Utbildningsprogrammet för Byggnadsteknik

Ekenäs 2015





## EXAMENSARBETE

Författare: Simon Öst  
Utbildningsprogram och ort: Byggnadsteknik, Raseborg  
Inriktningsalternativ/Fördjupning: Projektering och byggnadskonstruktion  
Handledare: Niklas Nyman

Titel: *Träbroar – Dimensionering av tvärspänd platta*

---

Datum 23.2.2015

Sidantal 48

Bilagor 3

---

### Abstrakt

En del av examensarbetet utgör en konstruktion av en träbro. Träbron som jag dimensionerar är en tvärspänd plattbro som har en spännvidd på 16 m och skall fungera som en vägbro för tung trafik. Examensarbetet har skett i samarbete med Pedersöre kommun och är avgränsat till egentynghet, vindlast och trafiklast. Arbetet går inte närmare in på hur räcken och stålstagen dimensioneras.

I examensarbetet behandlas olika typer av träbroar och träbroarnas historia i Finland och övriga Norden, samt hur dagsläget ser ut.

Syftet med arbetet är att ge en överblick på varför och hur man dimensionerar en träbro. Konstruktionerna kräver mycket underhåll och arbetet beskriver kort hur man skyddar konstruktioner och andra brodetaljer.

Dimensioneringsdelen i arbetet beskriver vilka laster som uppstår på en bro samt hur laster, hållfastheter och nedböjningar beräknas. Teorin baserar sig på internationella bestämmelser, eurokoderna, samt nationella bilagor.

Examensarbetet skall kunna fungera som en handbok för konstruktörer. Slutsatsen är att det finns goda möjligheter ur en konstruktörs synvinkel att dimensionera en träbro även som en vägbro med tung trafik. I och med att Finland är ett skogsrikt land så gynnar vi också, genom valet att bygga en träbro, användningen av inhemsk råvara.

---

Språk: Svenska

Nyckelord: träbroar, dimensionering

---

## OPINNÄYTETYÖ

Tekijä:	Simon Öst
Koulutusohjelma ja paikkakunta:	Rakennustekniikka, Raasepori
Suuntautumisvaihtoehto/Syventävät opinnot:	Rakennesuunnittelu
Ohjaaja:	Niklas Nyman

Nimike: *Puusillat – Poikittain jännitetyn laattasillan mitoitus*

---

Päivämäärä 23.2.2015

Sivumäärä 48

Liitteet 3

---

### Tiivistelmä

Erään puusillan rakenteiden suunnittelu on osa tätä opinnäytetyötä. Mitoitettava puusilta on poikittain jännitetty laattasilta ja sen pituus on 16 metriä. Silta on mitoitettu raskaan liikenteen ajoneuvojen aiheuttaman kuormituksen mukaan. Opinnäytetyö on tehty yhteistyössä Pedersören kunnan kanssa ja se on rajattu koskemaan omapainoa, tuulikuormia ja liikennekuormia. Työssä ei tarkastella tarkemmin sitä, miten kaiteet tai terästangot mitoitetaan.

Työssä käsitellään erilaisia puusiltatyyppejä sekä puusiltojen historiaa Suomessa ja muissa Pohjoismaissa. Myös puusiltojen nykytilaa tarkastellaan opinnäytetyössä.

Työn tarkoituksena on luoda yleiskatsaus puusilloista sekä niiden mitoituksesta. Rakenteet tarvitsevat jatkuvaa huoltoa ja työssä kuvataan lyhyesti, kuinka siltojen rakenteita sekä muita sillan osia voidaan suojata.

Työn mitoitusosassa kerrotaan, mistä sillan kuormitus syntyy sekä kuinka mm. kuorma, kestävyys ja taipumat lasketaan. Työssä käytetty teoria perustuu kansainvälisiin määräyksiin, eurokoodeihin, sekä kansallisiin liitteisiin.

Tavoitteena on, että opinnäytetyö voi toimia käsikirjana sillan suunnittelijalle. Loppupäätelmänä voidaan todeta, että suunnittelijan näkökulmasta puusilta on toimiva vaihtoehto myös raskaan kaluston liikenteelle. Puusillan rakentamiseen käytetään kotimaista raaka-ainetta, sillä Suomen metsissä on paljon rakennusmateriaaliksi hyvin kelpaavia puita.

---

Kieli: Ruotsi

Avainsanat: puusillat, mitoitus

---

## BACHELOR'S THESIS

Author: Simon Öst  
Degree Programme: Construction Engineering, Raseborg  
Specialization: Structural Engineering  
Supervisor: Niklas Nyman

Title: *Timber bridges – Construction of a laminated deck plate*

---

Date 23 February 2015

Number of pages 48

Appendices 3

---

### Summary

One part of my Bachelor's thesis work has been to construct a timber bridge. The timber bridge is a laminated deck plate that has a length of 16 m and will work as a road bridge for heavy loads. The thesis has been made in cooperation with Pedersöre municipality. I have delimited the thesis work so that it has not become too extensive, i.e. self-weight, wind actions and traffic loads are the only loads that I have taken into account. In the thesis I will not construct railings and the steel.

Different types of timber bridges, their history in Finland and in the other Nordic countries as well as the present situation concerning timber bridges, are described in my thesis.

The purpose of the thesis is to get an overview of why and how a timber bridge is constructed. As the constructions demand a lot of maintenance I have also described how the constructions and other bridge details should be protected.

The construction part deals with the loads that occur on a bridge and how the loads, strengths and demolitions are calculated. The theory is based on international standards, eurocodes, as well as the national appendices.

This thesis is intended to work as a manual for construction engineers. The conclusion that can be drawn from the work is that it is possible for construction engineers to construct timber bridges also as road bridges for heavy loads. Constructing a timber bridge includes using raw material from Finland and this gains Finland where there are a lot of forests.

---

Language: Swedish

Key words: timber bridges, construction

---

# Innehållsförteckning

1	Inledning.....	1
2	Översyn över träbroar i Norden.....	1
3	Olika typer av träbroar.....	5
3.1	Plattbroar.....	5
3.2	Balkbroar .....	7
3.3	Fackverksbroar.....	8
3.4	Hängverks- och sprängverksbroar .....	9
3.5	Bågbroar.....	10
3.6	Hängbroar och snedtagsbroar .....	12
4	Brodetaljer .....	13
4.1	Öppna broar .....	14
4.2	Inklädnader .....	14
4.3	Problemområden .....	15
4.4	Ståldetaljer .....	16
4.5	Broräcken.....	16
4.6	Beläggning .....	17
4.7	Övergångskonstruktioner.....	18
4.8	Lager .....	19
5	Dimensionering .....	20
5.1	Laster .....	20
5.1.1	Egentyngd.....	21
5.1.2	Snölast .....	22
5.1.3	Vindlast.....	22
5.1.4	Trafiklast.....	23
5.2	Lastspridning för vertikala laster .....	26
5.3	Materialvärden .....	27

5.4	Beräkning i brottgränstillstånd.....	30
5.4.1	Lastkombinationer .....	30
5.4.2	Böjning och tryck .....	31
5.4.3	Tvärkraft .....	34
5.5	Beräkning i bruksgränstillstånd .....	34
5.5.1	Nedböjning .....	34
5.5.2	Vibrationer.....	36
5.6	Spännkraft.....	36
6	Beräkning .....	37
6.1	Laster .....	38
6.1.1	Egentyngd.....	38
6.1.2	Vindlast.....	39
6.1.3	Trafiklast.....	40
6.1.4	Dimensionerande laster .....	40
6.2	Lastspridning .....	41
6.3	Materialvärden .....	42
6.3.1	Böjning på högkant.....	43
	Böjning på lågkant.....	43
6.3.2	Tryck parallellt med fibrerna .....	43
6.3.3	Tryck tvärs med fibrerna .....	43
6.3.4	Tvärkraftskapacitet .....	43
6.3.5	Knäckning.....	44
6.4	Beräkning i brottgränstillstånd.....	44
6.4.1	Böjning och tryck .....	44
6.4.2	Tvärkraft .....	45
6.5	Beräkning i bruksgränstillstånd .....	46
6.5.1	Nedböjning .....	46

6.5.2	Vibrationer.....	46
6.6	Spännkraft.....	47
6.7	Resultat .....	47
7	Avslutning .....	48
KÄLLFÖRTECKNING .....		
BILAGA 1 - Momentberäkning .....		
BILAGA 2 -Tvärkraftsberäkning .....		
BILAGA 3 – Broritningar .....		



## 1 Inledning

Syftet med det här arbetet är att undersöka trä som material för broar och då främst vägbroar. Bakgrunden till arbetet är främst mitt intresse för träkonstruktioner och det faktum att man inte ser träbroar lika mycket idag som tidigare. Går det alls att dimensionera en träbro som klarar de krav som ställs på dem nuförtiden?

Arbetet sker i samarbete med Pedersöre kommun och min uppgift är att konstruera en träbro som skall fungera som en vägbro. Examensarbetet är avgränsat till egentyngd, vindlaster och trafiklaster. Arbetet går inte in på hur räcken och stålstagen dimensioneras. Bron skall fungera som en vägbro, varav jag i dimensioneringen använt de internationella normerna som krävts samt nationella bilagor. I arbetet beskriver jag olika typer av broar, men främst nationella med inriktning på den tvärspända plattbron. Jag behandlar kort träbroar idag och i framtiden, både i Finland och övriga Norden.

I arbetet beskrivs teorin om hur man dimensionerar en tvärspänd platta. Dimensioneringen av plattan har gjorts med handberäkningar. I bilaga 3 finns plan-, sidoprofil- och skärningsritning på bron jag har dimensionerat.

## 2 Översyn över träbroar i Norden

Förr i tiden var det ett självklart val att man använde trä som byggnadsmaterial då man konstruerade broar eftersom det fanns så mycket skog. Från medeltiden fram till 1800-talet var träbroar mycket vanliga. Bågar och fackverk utvecklades under den här tiden. På 1900-talet utvecklades limträ. I och med det kunde man bygga med längre spännvidder (TräGuiden, Svenskt Trä, u.å.).

I Norden har man lång erfarenhet av träbroar men många av de gamla träbroarna finns inte längre. En av Finlands äldsta broar är byggd 1866 och finns i Salo och går över Halikko ån. Bron används nuförtiden som bro för lättare trafik (Carling, 2003, s.204) En av de äldsta bevarade träbroarna i Sverige är Lejonströmsbron som byggdes 1737 och är fortfarande efter viss ombyggnad öppen för trafik (Carling, 2003, s.204).

Bland de moderna träbroarna i Norden kan man nämna Vihantasalmibron i Finland som består av fem fack och de två yttre facken är en samverkanskonstruktion mellan trä och

betong, se figur 1. De tre mittersta facken är hängverk i limträ och vardera facket har en spännvidd på 42m. I Sverige finns bron över Lusbäcken som är en lådkonstruktion av limträ som når en spännvidd på 20m. I Norge kan nämnas broarna Tynsetbron, se figur 2, och Evenstadsbron, se figur 3, som båda går över Glomma i Hedmark. Tynsetbron är en bågbro i tre fack. Ett fack med en stor fackverksbåge med en spännvidd på 70m och två fack med två mindre bågar med en spännvidd på 27m. Evenstadsbron består av fem fackverksbågar, alla med en spännvidd på 36m (Carling, 2003, s. 206). För tillfället planeras världens längsta träbro i Norge som har en längd på 1400m. Bron planeras bära en motorväg i fyra körfält (Dahlqvist, 2010).



*Figur 1. Vihantasalmibron (©Auernitty, u.å).*



*Figur 2. Tynsetbron (©Holmestad, u.å.).*



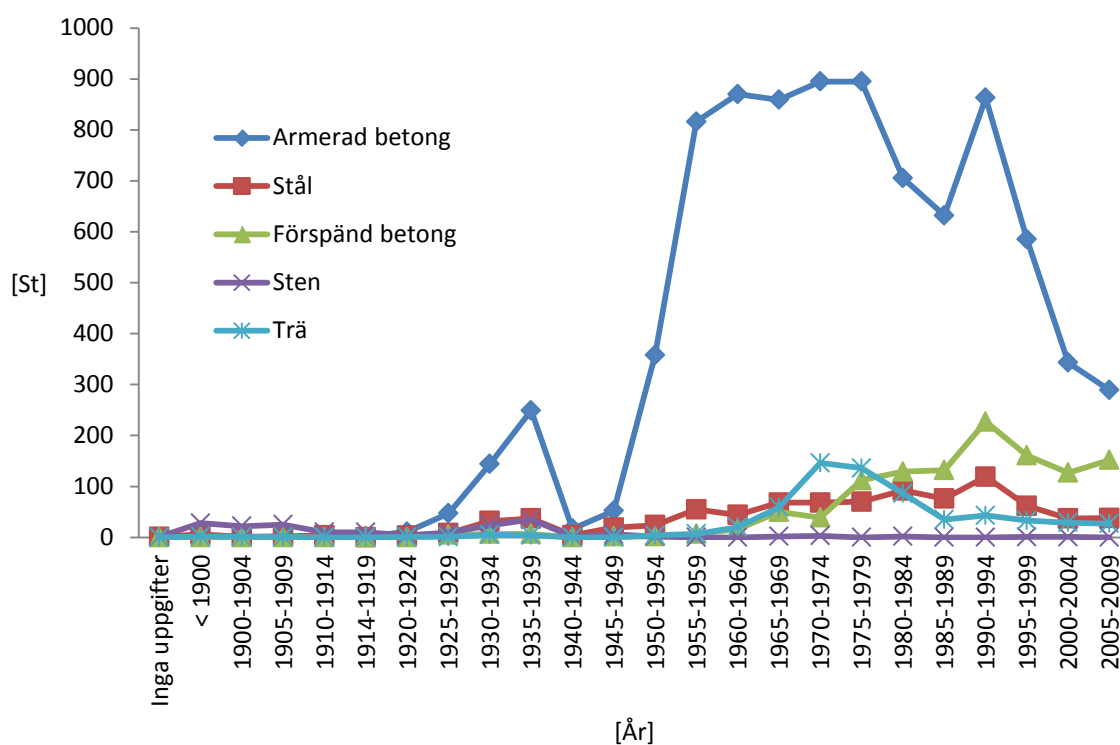
*Figur 3. Evenstadsbron (©Holmestad, u.å.).*

I Finland byggde man träbroar även i modern tid, framförallt limträbalkbroar. I de nordiska länderna gjordes en gemensam satsning på 1990-talet för att introducera tvärspända plattor och att utveckla träbrosbyggandet (TräGuiden, Svenskt Trä, u.å.).

Inom de närmaste åren vill man i Finland satsa på träbroar. Planen är att utveckla träbroarna till en exportprodukt, vilket skulle stöda Finlands bioekonomi. Genom att bygga träbroar används inhemsk råvara. Dessutom är de miljövänliga, lätta och snabba att tillverka. En annan fördel skulle möjligtvis vara att de är ekonomiskt konkurrenskraftiga. I Finland beställs träbroar främst av trafikverket, Forststyrelsen, städer, kommuner och väglag för egna vägar. (Arbets- och näringsministeriet, 2014).

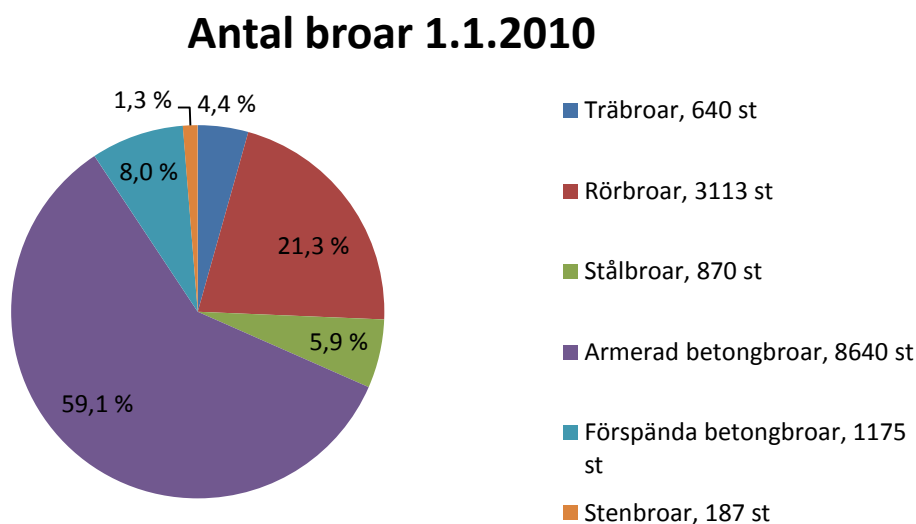
Den 1.1.2010 konstaterade man att det finns sammanlagt 14625 broar i Finland, varav 640 är träbroar. Som man kan se i tabell 1 och tabell 2 dominerar armerade betongbroar i Finland. Träbroarna hade sin pik i historien under 1970-talet i Finland, men på 1980-talet byggde man flera broar av förspänd betong och stål än av trä. Brobyggandet har gått drastiskt ner under slutet av 1990-talet och början av 2000-talet.

Tabell 1. Antal broar byggda i Finland enligt år (Liikennevirasto, 2010, s. 32).





Tabell 2. Antal broar i Finland den 1.1.2010 (Liikennevirasto, 2010, s. 32).



### 3 Olika typer av träbroar

När man bygger broar finns det många olika konstruktioner som man kan välja. Träbroar har man byggt i alla tider och framförallt förr i tiden då sten och trä var de enda tillgängliga materialen att bygga med. När man väljer vilken sorts konstruktion man vill ha så ska man ta i beaktande kostnad, miljö, byggtid, vikt och estetik (Pousette, 2010, s. 17).

När man ser på en bro ur en konstruktörs ögon så skiljer man på brons underbyggnad och överbyggnad. Till överbyggnaden hör brobanan och brons bärande system. Det bärande systemet kan bestå av t.ex. balkar eller bågar. Dess uppgift är att överföra krafterna till underbyggnaden som idag består av betong men förr i tiden av sten eller murad konstruktion. Underbyggnadens uppgift är att överföra krafterna till marken (Carling, 2003, s. 205).

#### 3.1 Plattbroar

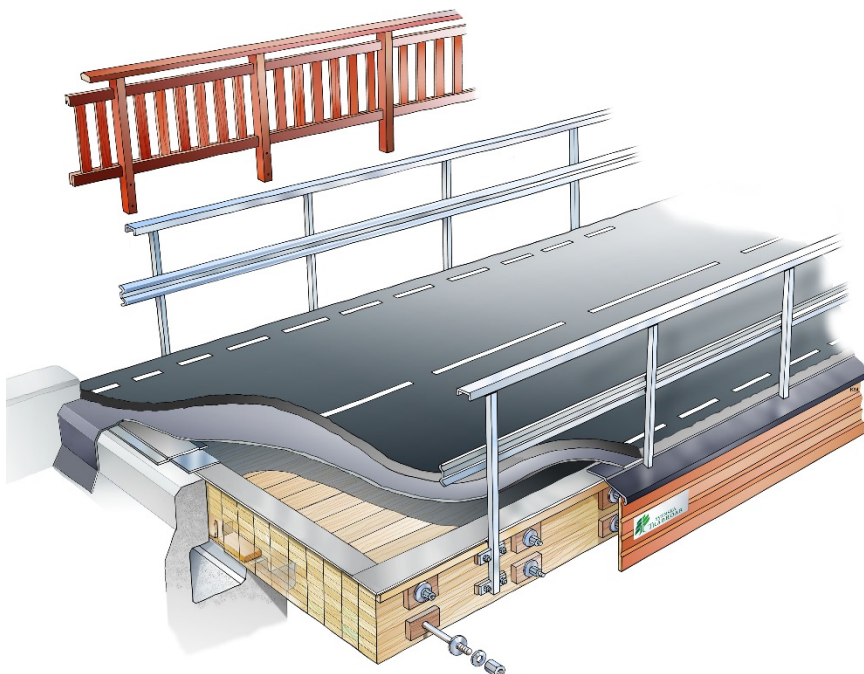
Plattbron är en konstruktion som lämpar sig som gång- och cykelbro men lämpar sig också ypperligt som vägbro (Pousette, 2010, s. 19). Plattbron består av en massiv bärande platta i trä som också fungerar som själva brobaneplattan (Carling, 2003, s.206). När man

tillverkar bron används plankor eller vid längre spännvidder limträbalkar. Plankorna eller balkarna limmas eller spikas ihop för att skapa den massiva träplattan. Lämplig spännvidd för en plattbro är 5m-30m (Pousette, 2010, s. 19).



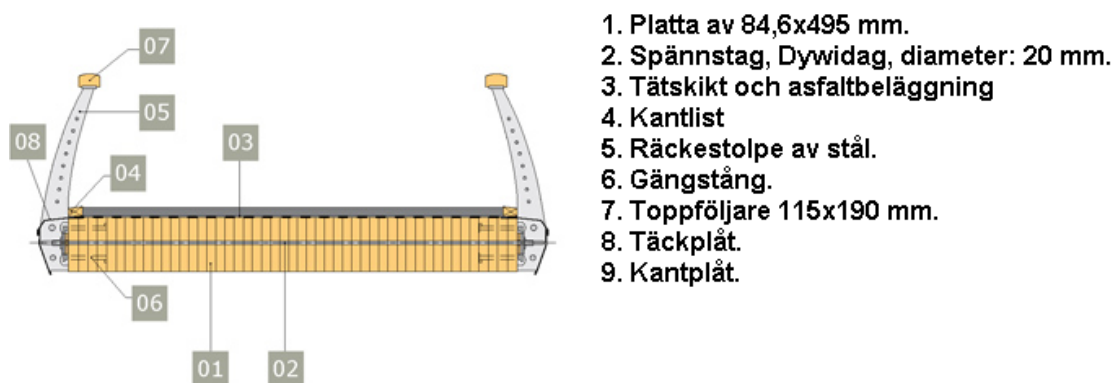
*Figur 4. Sidoprofil av plattbro (TräGuiden, Svenskt Trä, u.å.).*

Den moderna typen av plattbro är den tvärsända plattbron, se figur 5. Tekniken kommer ursprungligen från Kanada och används nu i nästan hela världen. Tekniken går ut på att man använder, på samma sätt som den ursprungliga träbron, plankor eller limträbalkar men istället för att limma eller spika ihop dem så använder man stålstänger som spänner ihop den tvärsända träplattan. Stålstängerna skall spännas så pass kraftigt ihop att balkarna samverkar. Man har ett högt materialutnyttjande eftersom bron spänns ihop och fungerar som en platta. (Pousette, 2010 s. 19).



*Figur 5. Den tvärsända plattbrons uppbyggnad (Martinsons, u.å.).*

Eftersom plattbron är massiv och har en jämn yta passar den bra att asfaltera, vilket gör den väldigt attraktiv som vägbro (Pousette, 2010, s. 19).



Figur 6. Skärning av hamnbron i Mariestad, Sverige (TräGuiden, Svenskt Trä, u.å.).

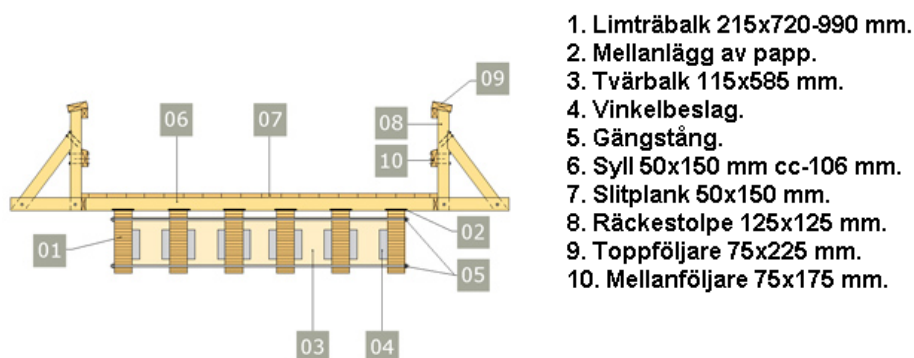
### 3.2 Balkbroar

Balkbron är konstruerad med balkar i flera led. Balkbron består av primärbalkar, tvärbalkar, syllar och slitplank. Slitplanket för över krafterna till syllen vilket i sin tur för över kraften till primärbalken som överför kraften till underbyggnaden, se figur 7. Syllen kan utgå ifall primärbalkarna är så pass tätt byggda att planket klarar spännvidden. Tvärbalkarnas funktion är att stabilisera bron för vippning. Lämplig spännvidd för en balkbro är 5m-30m (Carling, 2003, s. 206).



Figur 7. Sidoprofil av balkbro (TräGuiden, Svenskt Trä, u.å.).

Som material till bron använder man i regel limträbalkar till primärbalkar, tack vare dess större hållfasthet (Pousette, 2010, s. 21).



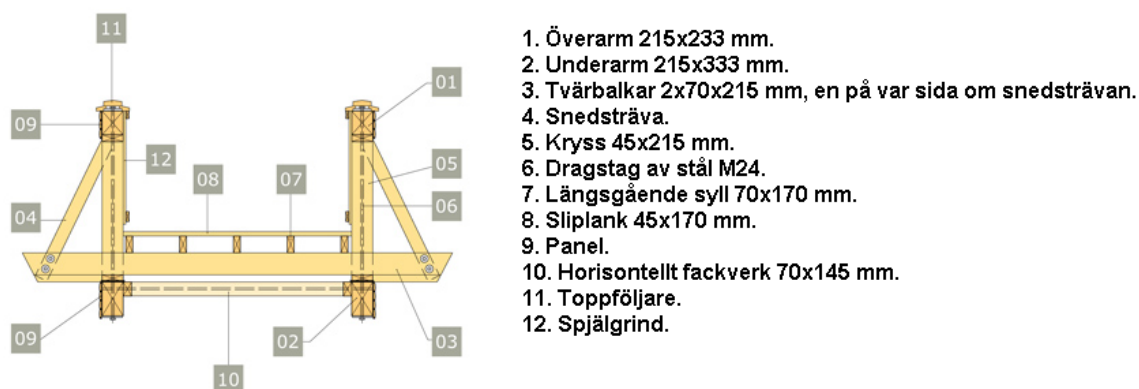
Figur 8. Skärning av balkbron i Skeppsvik, Sverige (TräGuiden, Svenskt Trä, u.å.).

### 3.3 Fackverksbroar

Fackverksbroar består av plankor eller limträbalkar som är kopplade tillsammans så att ett stabilt bärsystem uppstår. När balkarna är kopplade till varandra slipper dessa inte att röra på sig när laster finns på bron. Fackverken placeras under brobanan eller vid sidan av brobanan. Lämplig Spännvidd för en fackverksbro är 10m-40m (Pousette, 2010, s.22).



Figur 9. Sidoprofil av fackverksbro (TräGuiden, Svenskt Trä, u.å.).

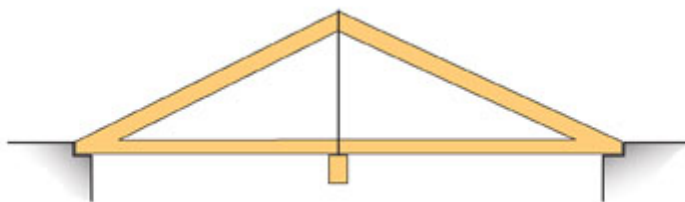


Figur 10. Skärning av fackverksbron i Storforsen, Sverige (TräGuiden, Svenskt Trä, u.å.).



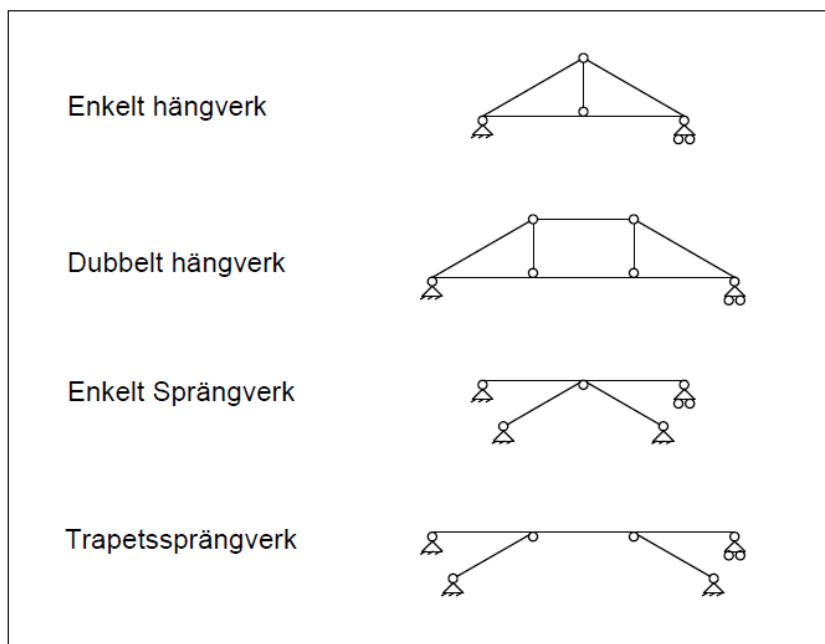
### 3.4 Hängverks- och sprängverksbroar

Hängverksbroar har ett bärande system som består av brobanans balkar eller platta som stöds upp av stänger eller stolpar som är upphängda i hängverket. Så bron bildar en triangel där brobanan och hängverket är sidorna i triangeln. Krafterna överförs från körbanan till hängverket. Lämplig spännvidd är 10m-50m. Vid enkla hängverkskonstruktioner är stödpunkter i mitten av bron. Ifall spännvidden ökar så ökar också antalet stödpunkter. (Pousette, 2010, s. 24)



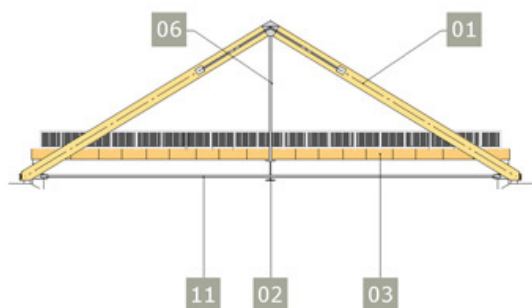
Figur 11. Sidoprofil av hängverk (TräGuiden, Svenskt Trä, u.å.).

Sprängverksbron är som en hängverksbro bara den skillnaden att bron stöds upp under bron. Lämplig spännvidd är 20m-40m. Det finns olika sorters sprängverksbroar, se figur 12 (Pousette, 2010, s. 24).



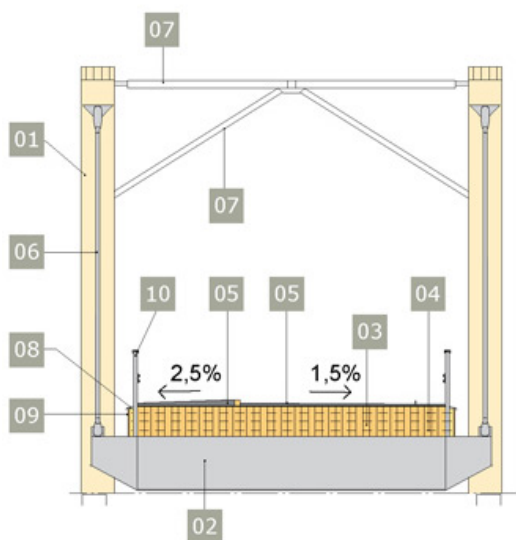
Figur 12. Exempel på hängverks- och sprängverksbroar (Pousette, 2010, s. 24).

A



1. Bock 850x850 mm.
2. Stålbalk.
3. Platta av limträ h=765 mm.
4. Spännstag, Dywidag, diameter 20 mm.
5. Tätskikt och asfalt.
6. Hängstag.
7. Vindförband.
8. Täckplåt.
9. Panel.
10. Räcke.
11. Dragstag.

B

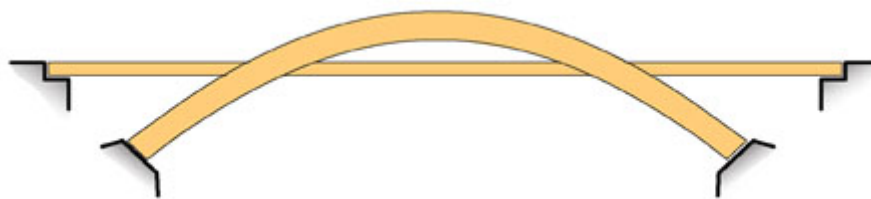


Figur 13. Sidoprofil (A) och Skärning (B) av hängverksbron i Sävar, Sverige (TräGuiden, Svenskt Trä, u.å.).

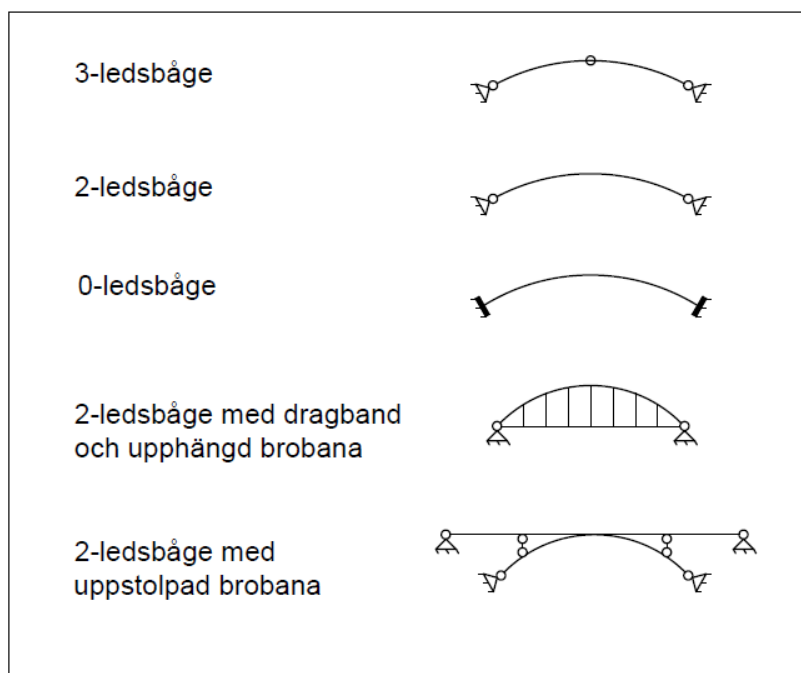
### 3.5 Bågbroar

Bågarna som bär upp bron tillverkas oftast av limträ. Genom att använda förband stabiliseras bågarna i tvärriktningen. De horisontella krafterna ska tas upp av kantbalkarna, dragbanden eller föras in till upplagen. Förband stabiliserar upp bron i tvärriktningen. (Carling, 2003, s. 207)

Lämplig spännvidd är 20-70m (Pousette, 2010, s.18).

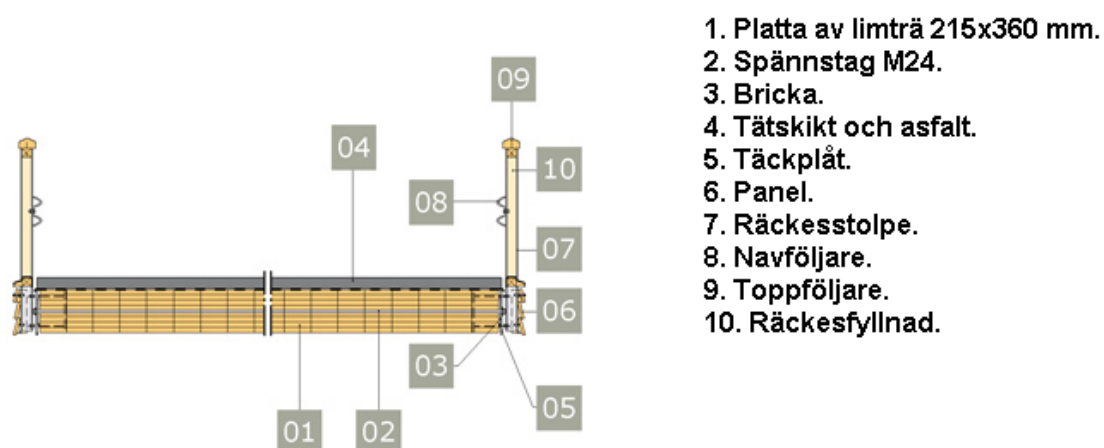


Figur 14. Sidoprofil av bågbro (TräGuiden, Svenskt Trä, u.å.).



Figur 15. Statiska system för bågbroar (Pousette, 2010, s.26).

Bågarnas längd begränsas av hur långa de kan vara för att kunna transporteras till byggplatsen. För att uppnå längre spännvidder används därför treledsbågen, vid kortare spännvidder finns möjligheten att använda tvåledsbågen. Nollledsbågen används vanligtvis inte. Radien på en båge kan varieras, likaså kan också brobanan vara upphängd, uppstöttad eller så är själva bågen brobanan. Eftersom bågarna är utsatta för klimatpåverkan bör dessa täckas in eller skyddas på bästa möjliga sätt. (Pousette 2010 s. 26)

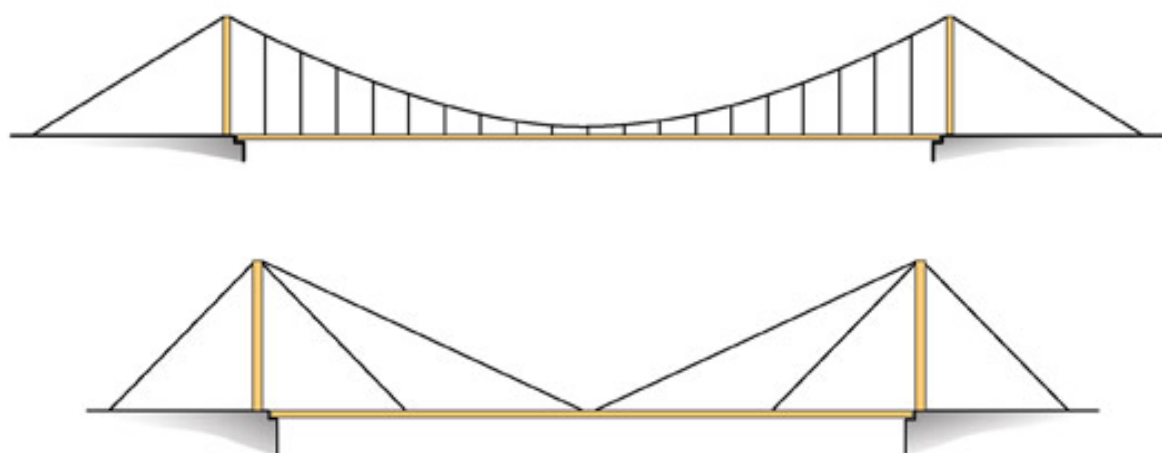


Figur 16. Skärning av bågbron i Skellefteå, Sverige (TräGuiden, Svenskt Trä, u.å.).

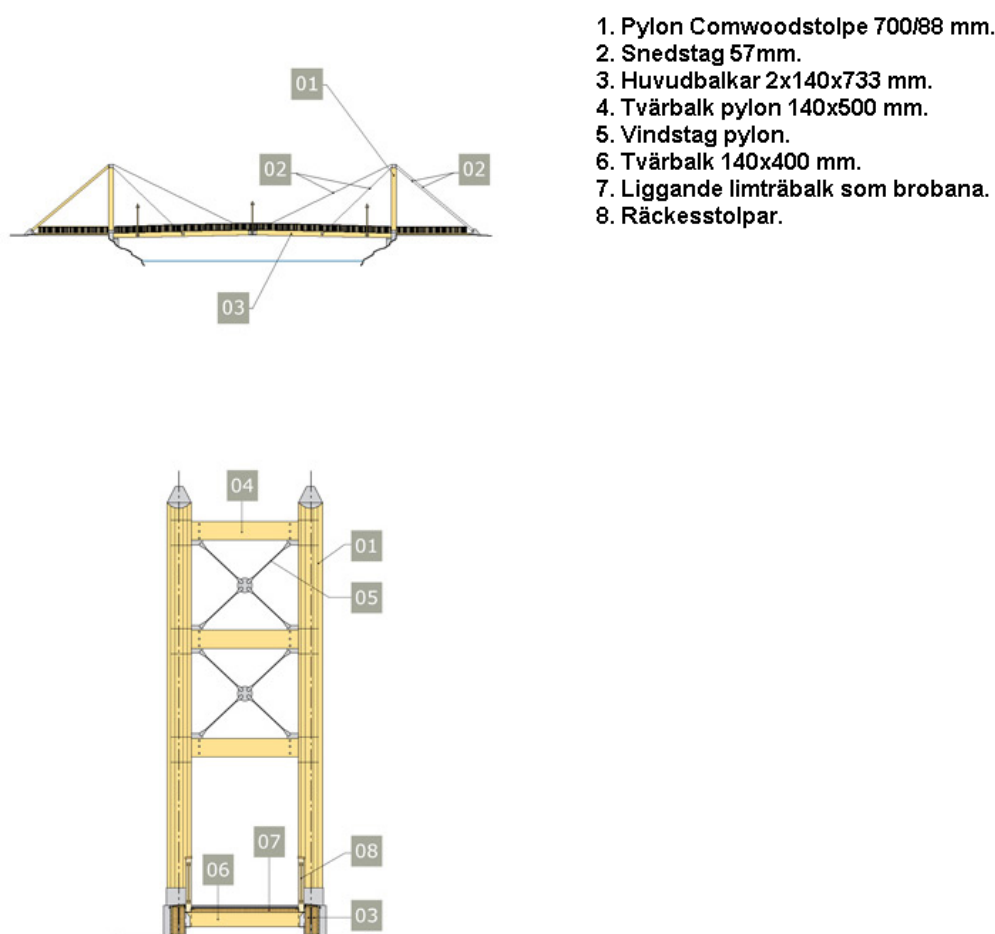
### 3.6 Hängbroar och snedtagsbroar

Broarna är upphängda i kablar eller dragstag och konstruktionen lämpar sig för längre spännvidder. Det primära bärverket kan bestå av flera olika konstruktioner, t.ex. fackverk. Horisontalkrafterna förs via kablarna eller dragstagen ned i förankringarna vid marken. (Pousette A, 2010, s.28-29). Lämplig spännvidd är 20-100m (Pousette, 2010, s.18).

Med konstruktionen hängverk kan man bilda mycket långa spann. Världens längsta hängbro, Akashi Kaikyo-bron, har ett brospann på 1990 m. (Nationalencyklopedin, 2015)



Figur 17. Övre figuren visar en hängbro och den nedre en snedtagsbro. (TräGuiden, Svenskt Trä, u.å.).



Figur 18. Sidoprofil och skärning av snedtagsbron i Karlstad, Sverige (TräGuiden, Svenskt Trä, u.å.).

## 4 Brodetaljer

Trä är ett naturligt material, vilket betyder att materialet i sig kan ruttna. För att träkonstruktioner skall hålla en längre tid bör de planeras så att träet skyddas så det inte ruttnar. Det största problemet är att träet inte tål vatten så bra och lösningen är att skydda träet från att bli vått. Genom att använda broar med tak så blir det inga större problem med fukt eftersom taket skyddar hela bron. Dessa broar kallas täckta broar. Broar som inte har tak kallas öppna broar och deras konstruktioner bör täckas in för att skydda mot fukt. Det här kapitlet går närmare in på öppna broar. (Pousette, 2014, s. 34)

I Sverige har Trätek i Skellefteå gjort tester på två olika brokonstruktioner i trä, en vägbro i Borlänge och en gång- och cykelbro i Årjäng. Resultatet visar att broarna har låga fuktkvoter och behöver inte alls dränkas i impregnering ifall delarna inte är i direkt kontakt med vatten. (Egertz, 2002, s. 6)

## 4.1 Öppna broar

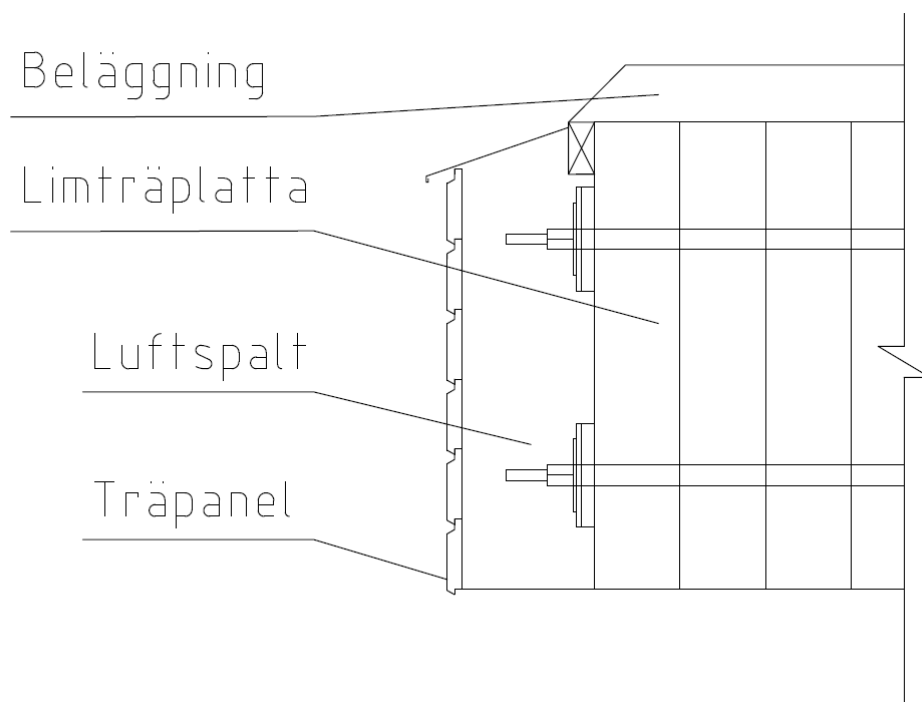
En öppen bros livslängd beror mycket på hur dess konstruktioner blir skyddade. Den största skaderisken finns vid exponering av ändträ och skarvar i knutpunkter. Det finns flera olika sorters lösningar på hur man ska skydda träet mot klimatpåverkan:

- Vattnet leds bort från konstruktionerna.
- Träet har ingen direkt kontakt med marken.
- Täck in känsliga delar för nederbörd.
- Se till att träet ventileras bra.
- Undvika hål eller mellanrum som fukt tränger in i.
- Undvika att skapa sprickor.

(Pousette, 2010, s. 33-34)

## 4.2 Inklädnader

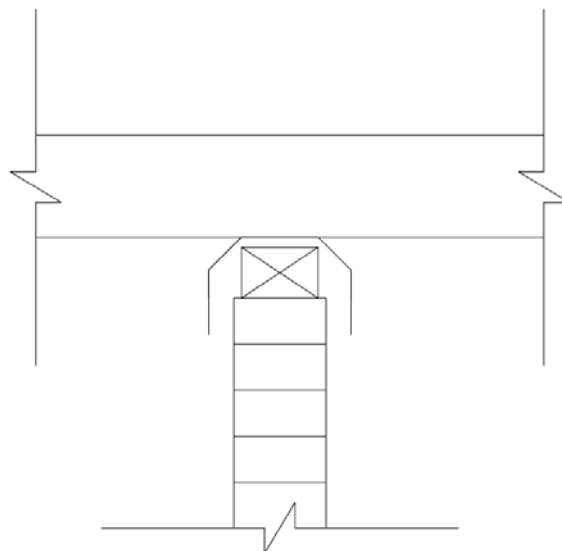
Enligt Finlands trafikverk så planeras en träbro för en livslängd på 50 år. (Liikenne- ja viestintäministeriö, 2015, s.3) Brotypen, impregneringen, detaljer och inklädnader påverkar livslängden. Inklädnaden för en träbro kan se ut som en vanlig fasadpanel och dess olika typer och former bestäms också enligt det. I ändan skall det finnas en droppkant som leder vattnet bort från bron. Bakom panelen skall det planeras in en luftspalt som förhindrar den kapillära sugningen, se figur 19. Ändträ skall täckas in. Detta kan ske med plåt eller trä. Plåten är en effektiv lösning men kan deformeras lättare. Alla genomföringar som sker både med plåt och med trä skall tätas noggrant. (Pousette, 2014, s. 34-35).



*Figur 19. Skärning av tvärspänd plattbro med luftspalt och träpanel. Panelen fästs i plankor som fungerar som skålning. (Öst, 2015)*

### 4.3 Problemområden

I framförallt träbroar där man lägger balkar på varandra, t.ex. balkbroar, så finns det risk för röta i de virkesdelar som läggs på varandra eftersom det bildas springor där fukten tränger in. På dessa ytor skall det anordnas vattentätt mellanlägg, t.ex. gummiremsa, plåt eller grundpapp. Mellanläggets kanter viks neråt så att fukten inte börjar röra sig under mellanlägget, se figur 20. (Pousette, 2010 s. 36)



*Figur 20. Hur man täcker in en balk (Pousette, 2010, s. 36).*

#### **4.4 Ståldetaljer**

De olika trädelarna i en bro sätts ihop med hjälp av olika stålbeslag, spikar, skruvar m.m. Tvärspända plattor spänns ihop av spännstänger med förankringsbrickor och muttrar. Efter 12 månader bör det ske en efterdragning på skruvförband eftersom virket kan torka med tiden och göra förbandet glappt. (Pousette, 2010, s. 38-39)

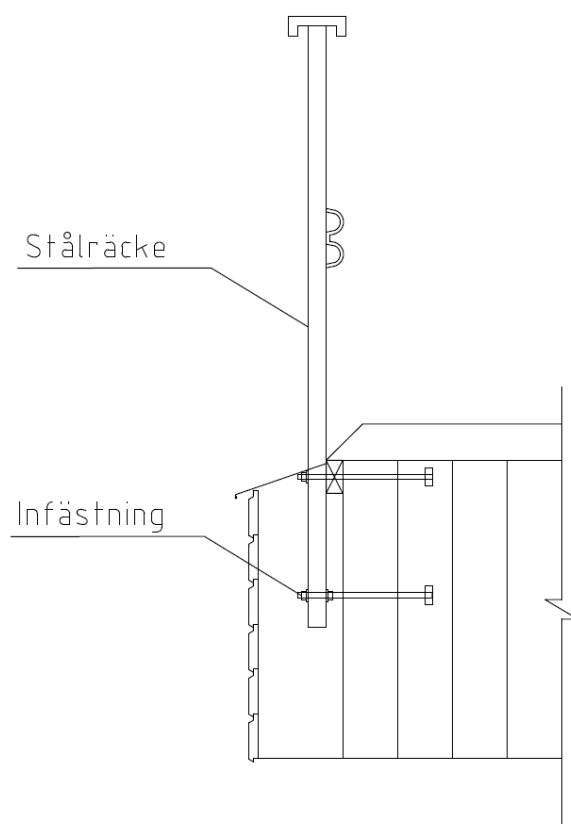
Metaller har olika sorters korrosionsskydd. Järn och stål rostar lätt, medan varmförzinkat stål ökar livslängden något. Det finns två olika sorters förzinkning, varmförzinkning och elförzinkning. Till träbroar bör det användas varmförzinkat stål eftersom elförzinkning inte ger tillräckligt rostskydd. Vid tvärspända plattor används spännstänger (typ Dywidag) som är tillverkade av stål med hög hållfasthet och med dimensionerna  $\varnothing 15$  och  $\varnothing 20$ . (Pousette, 2010, s. 38-39)

#### **4.5 Broräcken**

Vägräcken för vägbroar är oftast av stål. Räcket bör minst vara 1,2m högt och ha högst 2m stolpavstånd. (Liikennevirasto, 2012, Siltojen kaiteet, s. 11) Vägräckets infästningar ska alltid kontrolleras så de är tillräckligt momentstyva.



Vid användning av träräcken, oftast till gång- och cykelbroar, bör de planeras så att fukten leds bort. (Pousette, 2010, s. 40)

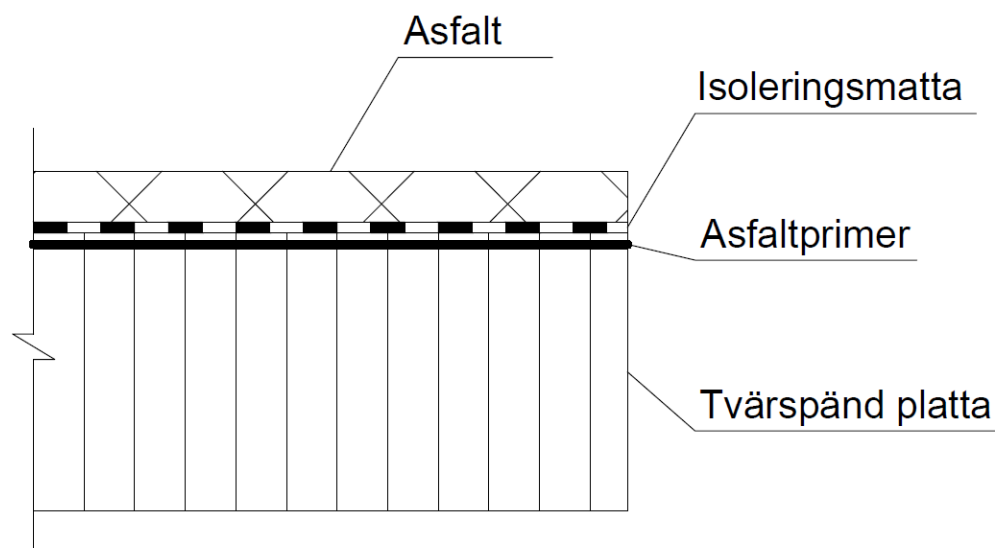


Figur 21. Stålräcke och dess infästning (Pousette, 2010, s. 41).

## 4.6 Beläggning

Till gång och cykelbroar kan man använda en brobana i trä. Vid planering av vägbroar används oftast och mest rekommenderat asfalt. (Pousette, 2010, s. 44)

Asfaltbeläggningen lägger man helst på en yta som är tillräcklig stabil och jämn för att klara trafiklasten. Därför är den tvärsända plattan en ypperlig bro typ i det avseendet. I annat fall kan asfalten spricka. Samma typer av asfaltbeläggning används på träbroar som andra broar. För att undvika blåsbildning vid själva asfalteringen så bör läggningstemperaturen vara så låg som möjlig. För framtida blåsbildning så bör beläggningstjockleken vara ganska tjock så att den reducerar uppvärmningen av underlaget. En asfaltbeläggning är uppbyggd enligt figur 22. (Pousette, 2010, s. 44)



Figur 22. Uppbyggnad med asfaltsbeläggning (Pousette, 2010, s. 44).

Tätskiktet, som oftast består av en isoleringsmatta med armerad stomme och bitumen på båda sidorna, är det viktigaste för att skydda träet. Det fungerar som skydd ovanifrån. Tätskiktet vidhäftar mot träet bäst om det sker så snabbt som möjligt så att träet inte hunnit vara utsatt för väder och vind allt för länge. Träytan skall vara jämn och torr. Det får inte finnas mer än 4mm förskjutning på 1m längd och inte förskjutningar mellan lamellerna i plattan. Träytan skall helst vara hyvlad eller slipad. Vid inspektion bör asfalten granskas så att man kontrollerat att tätskiktet fortfarande är tät och att ingen blåsbildning bildats. (Pousette, 2010, s. 44-45)

Avvattningen från asfaltsbeläggningen är viktig. Man kan konstruera det så att i kanten fastsätts en plåt som fungerar som en dropplåt där vattnet efter att ha runnit på asfalten fångas upp på dropplåten och sen leds vidare bort neråt och på så sätt inte skadar träet. För att en god avvattning skall ske så bör bron ha en lutning på minst 0,5 % längs bron. Se bilaga 3 för mer detaljerad ritning av avvattningssystem på tvärspänd platta med asfaltsbeläggning. (Pousette, 2010, s.46-47)

## 4.7 Övergångskonstruktioner

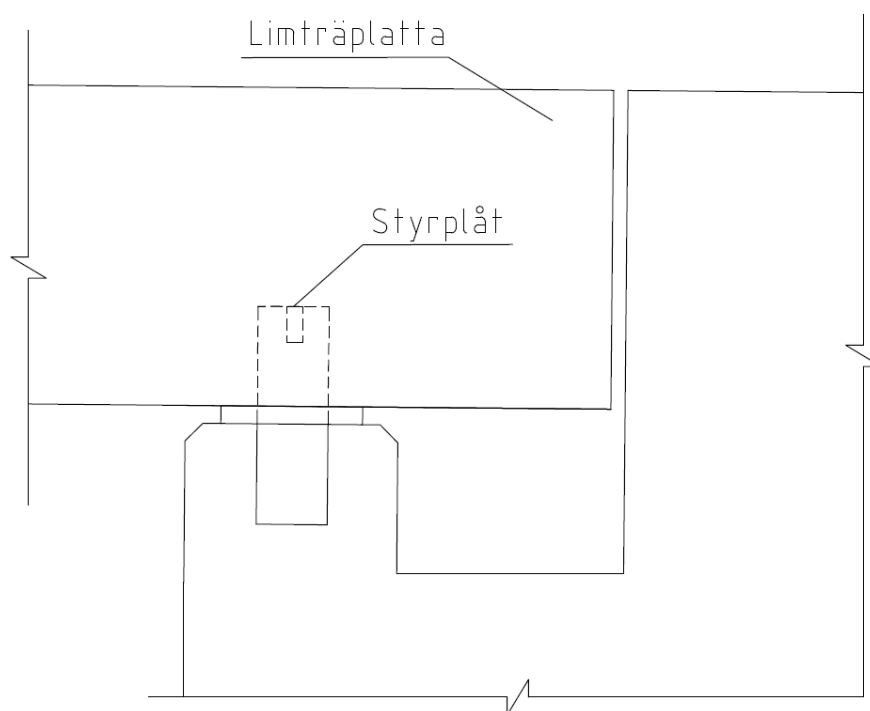
Konstruktionen mellan väg och bro ska vara tät, bullerfri, enkel att underhålla och klara yttre påfrestningar. Den ska vara konstruerad så att bron kan röra på sig. Konstruktionen

anpassas till beläggningen så den blir jämn att köra över. För många träbroar är rörelserna små och enkla överföringar kan konstrueras med plåtar. (Pousette, 2010, s.46)

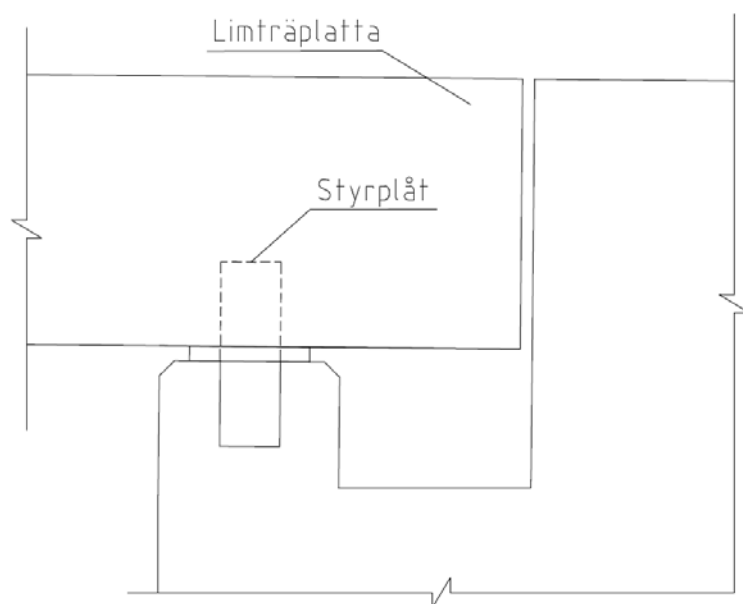
## 4.8 Lager

Broar uppspanns på lager. Dessa lager överför de horisontella och vertikala lasterna till underbyggnaden (t.ex. betongfundament). Det finns fast lager och rörligt lager. För balkbroar så används vid fast lager oftast en U-balk som är fasgjuten i fundamentet och en lagerplatta som själva balken vilar emot. Balken skruvas fast i U-balken. Vid rörligt lager så används avlånga hål för att skruven och balken skall kunna röra på sig. (Pousette, 2010, s.48)

Fasta lager för plattbroar fungerar på ungefär samma sätt. Då finns det ingjutna plåtar som passas in i spår på plattans undersida, dessa plåtar går i tvär- och längdled, se figur 23. Vid rörligt lager finns plåtar endast i längdled, se figur 24. Själva plattan vilar mot lagerplattan. (Pousette, 2010, s.48)



Figur 23. Fast lager för plattbro. Styrplåten låser bron i tvär- och längdled. (Pousette, 2010, s. 48)



*Figur 24. Rörligt lager för plattbro. Styrplåten gör så att bron kan röra sig i längdled.  
(Pousette, 2010, s. 48)*

## 5 Dimensionering

Det här kapitlet går igenom teorin för hur man dimensionerar en tvärspäänd plattbro som skall fungera som vägbro. Kapitlet går igenom hur överbyggnaden dimensioneras, d.v.s. det går inte något närmare in på hur underbyggnaden planeras. Arbetet begränsas så att temperaturlaster, olyckslaster och laster under byggnadsskedet inte beaktas, även dimensioneringen av stålstagen och räcken beaktas inte i examensarbetet.

Planeringen och dimensioneringen planeras enligt gällande internationella dimensioneringsnormer samt nationella bilagor.

### 5.1 Laster

På en bro uppkommer laster från t.ex. bilar, fotgängare och vind. En bro dimensioneras för att klara alla möjliga laster som uppkommer. De olika lasterna är:

- Egentyngd (EN 1991-1-1)
- Snölast (EN 1991-1-3)

- Vindlast (EN 1991-1-4)
- Temperaturlast (EN 1991-1-5)
- Laster under byggskedet (EN 1991-1-6)
- Olyckslast (EN 1991-1-7)
- Trafiklast på broar (EN 1991-2)

### 5.1.1 Egentyngd

Egentyngden är den kraft som själva bron orsakar. Lasten är permanent. Enligt EN 1991-1-1 anges egentyngden enligt träets material samt hållfasthetsklass, se tabell 3. En vägbro består dock inte endast av trä utan också olika typbeläggningar, se tabell 3. För en bro skall man också ta i beaktande överfyllnad, jordtryck, krympning, krypning, spännkraft och stödförskjutningar. Stödförskjutningar är mest aktuellt för en träbro. (Pousette, 2010, s.68)

*Tabell 3. Brobyggnadens egentyngder (Liikennevirasto, 2014, s. 8).*

Material	Vikt per m <sup>3</sup> (kN/m <sup>3</sup> )
Betong	24
- Ohärdad betong	24
- Armerad betong	25
Cementbruk	19-23
Byggstål	77-78,5
Gjutjärn	71-72,5
Aluminium	27
Trä (EN338)	
- C14 / C30 / D50 / D70	3,5 / 4,6 / 7,8 / 10,8
Limträ (EN 1194)	
- GL24h / GL36h / GL24c / GL36c	3,7 / 4,4 / 3,5 / 4,2
Kreosot impregnerat trä	6
Träformar	6
Gjutasfalt och asfaltbetong	24-25
Asfaltmassa	18-22
Asfaltrulle	23
Sand, torr	15-16
Grus	15-15
Jordbetong	18,5-19,5
Krossad masugnsslagg	13,5-14,5

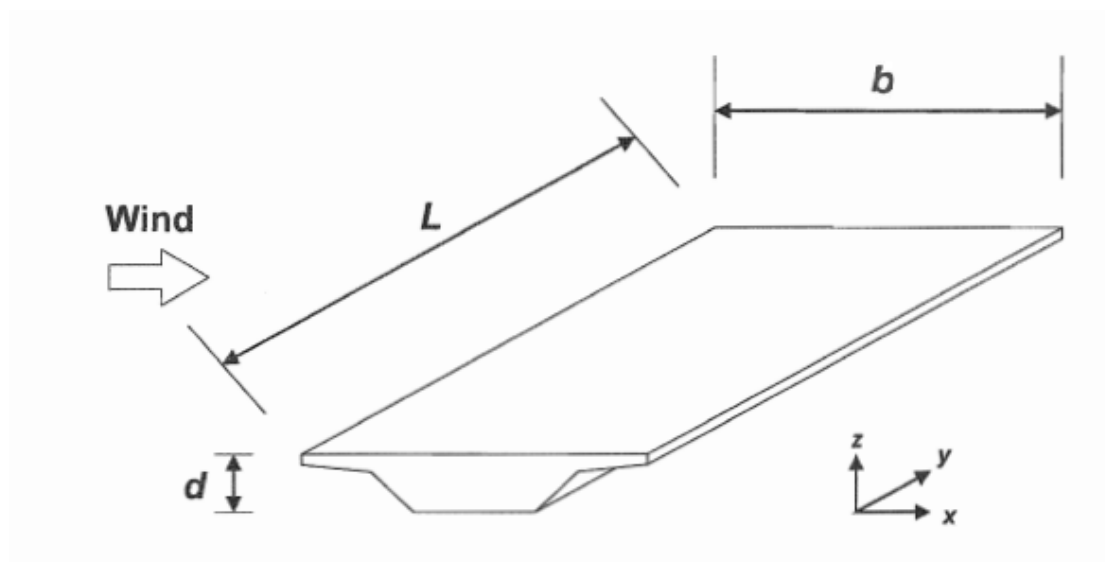
### 5.1.2 Snölast

Snölasten tas inte i beaktande vid beräkning av broar eftersom broar anses vara plogade. Vid dimensionering av broar med takkonstruktion samt skid- och skoterbroar tar man i beaktande snölasten (Pousette, 2010, s. 68).

### 5.1.3 Vindlast

Vindlaster på beräknas i x-, y- och z-led enligt EN 1991-1-4:2005 figur 8.2 där

- x-led: Beräkning i horisontell riktning tvärs över bron.
- y-led: Beräkning i vertikal riktning.
- z-led: Beräkning i horisontell riktning längs bron.



Figur 25. Beräkningsriktningar för vindlast på broar (EN 1991-1-4:2005 figur 8.2).

Eftersom vinden påverkar i tre riktningar finns det tre formler man ska följa.

$$(1) F_{wx} = \frac{\rho}{2} \cdot v_b^2 \cdot C \cdot A_{ref,x} \quad (\text{x-led})$$

$$(2) F_{wy} = 0,25 \cdot F_{wx} \quad (\text{y-led})$$

$$(3) F_{wz} = \frac{\rho}{2} \cdot v_b^2 \cdot c_{fz} \cdot c_e \cdot A_{ref,z} \quad (\text{z-led})$$

Där:

$F_{w,i}$  kraften i antingen x-,y- eller z-led [N].

$\rho$  luftens densitet enligt EN 1991-1-4. Rekommenderat värde är  $1,25\text{kg/m}^3$ .

$v_b$  vindhastigheten [m/s]. Rekommenderat värde är 23 m/s enligt finska trafikverkets regler (Liikenne- ja viestintäministeriö, 2010)

$C$  formfaktor som bestäms enligt formel (4).

$c_{fz}$  vind konstant som kan antas vara 0,9 enligt EN 1991-1-4.

$c_e$  konstant som bestäms enligt figur 4.2 i EN 1991-1-4.

$A_{ref}$  arean i x, y, z-led [ $\text{mm}^2$ ].

Formfaktorn  $C$ :

$$(4) \quad C = \begin{cases} 6,7 & \frac{b}{d_{tot}} \leq 0,5 \\ 6,7 - 3,1 \left( \frac{\frac{b}{d_{tot}} - 0,5}{3,5} \right) & 0,5 < \frac{b}{d_{tot}} < 4 \end{cases}$$

Där:

$b$  bredden på broplattan [m].

$d_{tot}$  räcketts höjd + plattans höjd + beläggningens höjd [m].

#### 5.1.4 Trafiklast

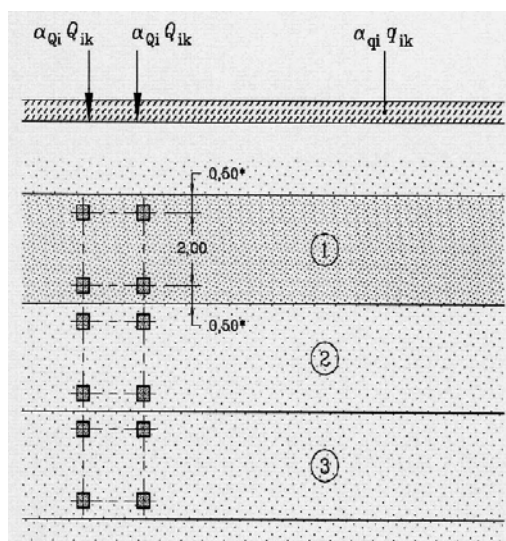
När man beräknar trafiklast på en vägbro så utgår man från EN 1991-2. Lasterna består av hjullaster samt linjelaster. Där finns fyra olika sorters lastmodeller som man ska beakta vid dimensioneringen. De olika lastmodellerna är:

- Lastmodell 1 består av en koncentrerad last (axellaster) och en utbredd last för global och lokal kontroll.

- Lastmodell 2 består av en axellast som ska tas i beaktande de dynamiska krafter som uppstår vid kortare spännvidder.
- Lastmodell 3 består av speciella fordonståg som har fått dispens.
- Lastmodell 4 består av en folksamling som beräknas med en last på  $5\text{kN/m}^2$ .

Lastmodell 1 är den som beaktas när jag ska dimensionera min bro så jag går endast igenom dess teori.

Lastmodell 1 består av ett boggisystem av dubbla axlar per lastfält, samt en utbredd last över hela brobanan. Hjullasterna verkar på ett område på  $0,4\text{m} \times 0,4\text{m}$ . Bredden på lastfälten är oftast  $3\text{m}$ . I längdled är det  $1,2\text{m}$  mellan hjulen och på bredden  $2\text{m}$  mellan hjulen, se figur 26.



Figur 26. Lastmodell 1 (EN-1991-2 figur 4.21a).

I tabell 4 går man igenom vilka laster som påverkar de olika lastfälten, samt anpassningsfaktorerna som är anpassade enligt nationella dimensioneringskrav.



Tabell 4. De olika lasterna för lastfälten till lastmodell 1 enligt EN 1991-2, samt de nationella anpassningsfaktorerna enligt nationella bilagan (liikenne – ja viestintäministeriö. 2015, s. 5).

Lastfält		Boggisystem Axellast (kN)		Utbredd last (kN/m <sup>2</sup> )
	$\alpha_{Qi}$	$Q_{ik}$	$\alpha_{qi}$	$q_{ik}$
1	1,0	300	1,0	9
2	1,5	300	2,4	6
3	0,0	-	1,2	3
övriga	-	-	1,2	3
återstående yta	-	-	1,2	3

Där:

$\alpha_{Qi}$  anpassningsfaktorn till axellasten.

$Q_{ik}$  axellasten [kN].

$\alpha_{qi}$  anpassningsfaktorn till den utbredda lasten.

$q_{ik}$  utbredda lasten, ytlasten [kN/m<sup>2</sup>].

Horisontella krafter ska också beaktas. Dessa krafter är bromskrafter och sidokrafter och verkar i brons längdriktning, x-led. Den beräknas utgående från den totala vertikala lasten på lastfält 1. Lasten är minst 162kN och max 900kN.

$$(5) \quad Q_{lk} = 0,6 \cdot 2 \cdot \alpha_{Q1} \cdot Q_{1k} + 0,10 \cdot \alpha_{q1} \cdot q_{1k} \cdot w_1 \cdot L$$

$$180 \text{ kN} \leq Q_{lk} \leq 900 \text{ kN}$$

Där:

$Q_{lk}$  karakteristiska bromskraften [kN].

$L$  brons spännvidd [m].

$w_1$  lastfältets bredd [m].

På bron som ska dimensioneras finns inga kurvor så centrifugalkraften behöver inte beaktas, dock ska jag beakta sned inbromsning som en sidokraft enligt formel (6).

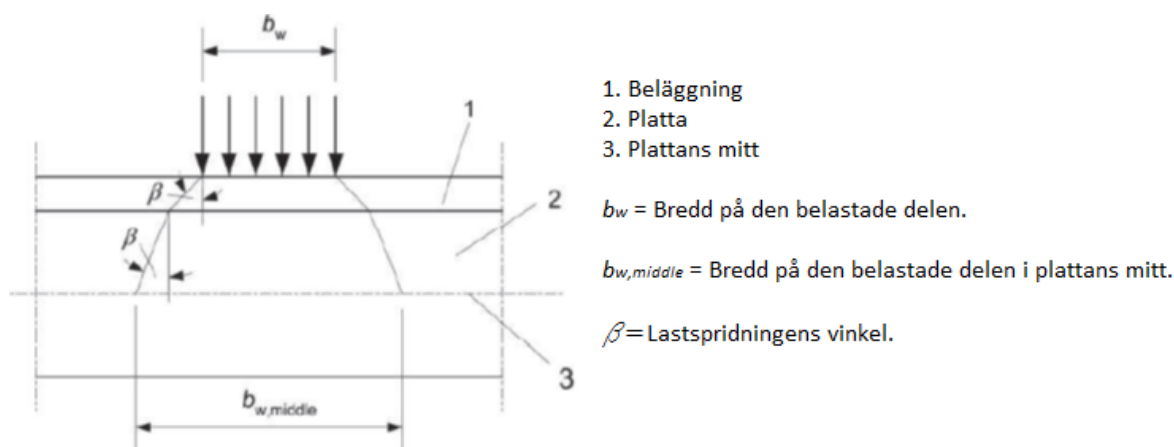
$$(6) Q_{trk} = 0,25Q_{lk}$$

Där:

$Q_{trk}$  karakteristiska sidokraften av sned inbromsning [kN].

## 5.2 Lastspridning för vertikala laster

Koncentrerade laster bör enligt EN 1995-2 angripa på ett referensplan i plattans mitt. Ytan som belastas i plattans mitt beror på materialegenskaper och tjocklekar på de olika beläggningarna man har på bron. Lastspridning visas i figur 27 och den koncentrerade lastens bredd betecknas med  $b_w$ .



Figur 27. Lastspridning i bron med koncentrerad last (EN 1995-2 figur 5.1).

Vinkeln  $\beta$  bestäms beroende på materialen. Lastspridningen är  $45^\circ$  för beläggning, brädor och plank, samt plywood och CLT. För plattor i limträ är  $\beta$   $15^\circ$  tvärs med lamellerna och  $45^\circ$  längs med lamellerna. Vid beräkning av den effektiva bredden så utgår man från formel (7).

$$(7) b_{ef} = b_{w,middle} + a$$

Där:

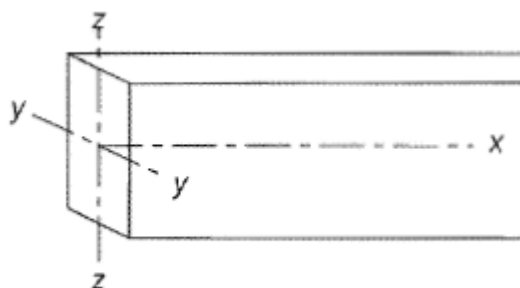
$b_{ef}$  effektiva bredden [m].

$b_{w,middle}$  bredden på den belastade delen i plattans mitt [m].

$a$  faktor som beror på lamellsplattans typ. Limmad eller förspänd  $a = 0,3$ .

### 5.3 Materialvärden

Huvudriktningar för sågvirke, limträ och träbaserade produkter är enligt figur 28. Riktningarna betecknas med x, y och z. När vi beräknar materialvärden så tar vi reda på vad materialet klarar av för belastning, max-värdet. (EN 1995-1-1).



Figur 28. Huvudriktningar för träbaserade produkter (EN 1995-1-1 figur 6.1).

Enligt EN 1995-1-1 2.4.1 så är dimensionerade värden för hållfasthet enligt formel (8).

$$(8) X_d = \frac{k_{mod} \cdot X_k}{\gamma_M}$$

Där:

$X_d$  dimensionerade värdet för hållfastheten [N/mm<sup>2</sup>].

$k_{mod}$  modifierande faktor som är beroende av klimatklass och lasternas tidsvarighet.

$X_k$  karakteristiska värdet för hållfastheten [N/mm<sup>2</sup>].

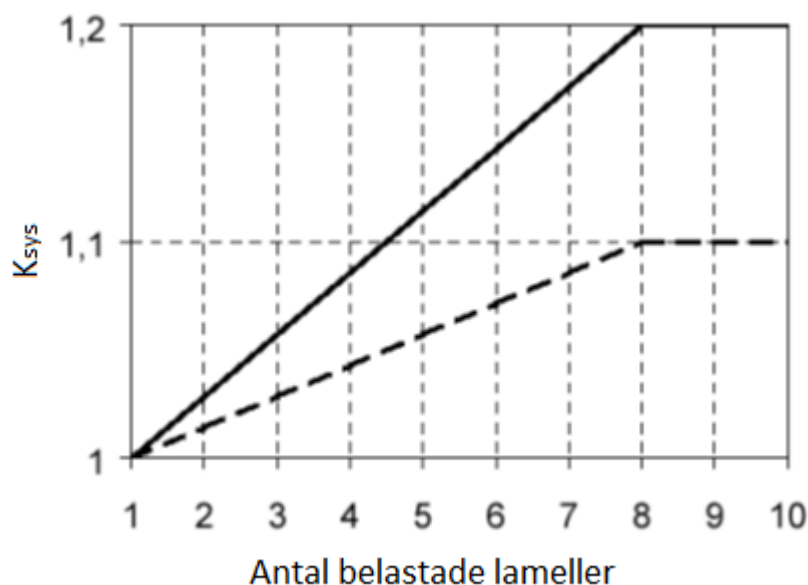
$\gamma_M$  säkerhetsfaktor för materialet

Man bestämmer  $k_{mod}$  enligt tabell 3.1.3 och  $\gamma_M$  enligt tabell 2.3 i EN 1995-1-1. De karakteristiska värdena för hållfasthet erhålls från tabell 5.

Tabell 5. Karakteristiska värden för hållfastheter (liikennevirasto, 2013, tabell 4.3).

Lujuus Jäykkyys Tiheys	Koodi	Epähomogeeninen liima- puu (ks. kpl 3.3)			Homogeeninen liimapuu		
		GL24c	GL28c	GL32c	GL24h	GL28h	GL32h
Lujuuksien ominaisarvot [N/mm <sup>2</sup> ]							
Taivutus	$f_{m,k}$	24,0	28,0	32,0	24,0	28,0	32,0
Veto β	$f_{t,0,k}$	14,0	16,5	19,5	16,5	19,5	22,5
	$f_{t,90,k}$	0,35	0,4	0,45	0,4	0,45	0,5
Puristus β	$f_{c,0,k}$	21,0	24,0	26,5	24,0	26,5	29,0
	$f_{c,90,k}$	2,4	2,7	3,0	2,7	3,0	3,3
Leikkaus	$f_{v,k}$	2,2	2,7	3,2	2,7	3,2	3,8

Enligt EN 1995-2 skall dimensionerande böjhållfasthet och tvärkraftskapacitet beräknas med en systemfaktor,  $k_{sys}$ . Systemfaktorn kan variera från 1,0 till 1,2 enligt figur 29.



Figur 29. Systemfaktor  $k_{sys}$ . Den heldragna linjen är för förspända eller limmade lameller och den streckade linjen är för spikade eller skruvade lameller. (EN 1995-1-1 figur 6.12)

Det kan finnas risk för knäckning eftersom konstruktionsdelarna blir utsatta för tryck. Ifall följande uttryck uppfylls behöver man inte beakta knäckning:

$$(9) \quad \lambda_{rel,y} \leq 0,3$$

För att ta reda på detta används formlerna (10) och (11).

$$(10) \quad \lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}}$$

$$(11) \quad \lambda_y = \frac{L_c}{h} \sqrt{12}$$

Där:

$\lambda_y$  och  $\lambda_{rel,y}$  faktor som beaktar slankheten.

$f_{c,0,k}$  trycket i fiberriktning [N/mm<sup>2</sup>].

$E_{0,05}$  elasticitetsmodul parallellt med fiberriktningen [N/mm<sup>2</sup>].

$L_c$  längden mellan de sektioner som nedböjningen sker [mm].

$h$  höjden på plattan [mm].

Ifall påstående (9) inte stämmer måste man beakta knäckning och följande faktorer beräknas och  $k_{c,y}$  reducerar tryckkraftkapaciteten, se formel (14) och (15).

$$(12) \quad k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}}$$

$$(13) \quad k_y = 0,5(1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2)$$

Där:

$\beta_c$  rakhetsfaktor. För limträ  $\beta_c = 0,1$ .

$k_y$  instabilitetsfaktor.

$k_{c,y}$  instabilitetsfaktor.

## 5.4 Beräkning i brottgränstillstånd

Broplattan dimensioneras som en balk med bredden  $b_{ef}$ . Dimensioneringen baserar sig på EN 1995-1-1.

### 5.4.1 Lastkombinationer

När man beräknar lasternas inverkan på broar kan man använda sig av lastkoefficienter som finns i Eurokoderna. När man kombinerar de variabla lasterna så används koefficienterna  $\psi_0$ ,  $\psi_1$  eller  $\psi_2$  beroende på vilka laster som kombineras. I detta arbete kombineras lasterna bara enligt att den vertikala trafiklasten fungerar som primär last. I så fall bör de horisontella lasterna (vindlast, sidolast och bromskraft) multipliceras med kombinationsvärdena enligt tabell 6.

Tabell 6. Kombinationsvärden (Liikenne – ja viestintäministeriö, 2015, s. 4 ).

Kuorma		$\psi_0$ Yhdistelyarvo (combination)	$\psi_1$ Tavallinen arvo (frequent)	$\psi_2$ Pitkäaikaisarvo (quasi-permanent)
LIIKENNEKUORMAT	gr1a Teli (LM1)	0,75	0,75	-
	UDL (LM1)	0,4	0,4	0,3
	Kevyen liikenteenkuorma (3kN/m <sup>2</sup> )	0,4	0,4	-
	gr1b Akseli kuorma (LM2)	-	0,75	-
	gr2 LM1 +Vaakakuormat	-	-	-
	gr3 Kevyen liikenteen väylän kuorma	-	-	-
	gr4 Ruuhkakuorma	-	0,75	-
	gr5 Erikoiskuorma (LM3)	-	-	-
TUULIKUORMAT	Fwk, Normaalisti vallitsevat mitoitusilanteet - Toteuttamisen aikana	0,6 0,8	0,2 -	- 0
LAMPÖTILAKUORMAT	Tk (ks. NCCI 1 kappale D )	-	0,6	0,5
LAAKERIKITKA	BF (ks. NCCI 1 kappale H.3)	0,6	0,5	0,4
JÄÄKUORMAT	IL (ks. NCCI 1 kappale H.1)	0,7	0,5	0,2
TUKIPAINUMAT/-SIIRTYMÄT	S (ks. NCCI 1 kappale H.2)	pysyvä kuorma		
VEDENPINNAN ASEMA	W (ks. NCCI 1 kappale H.5)	pysyvä kuorma		
LIIKENNEKUORMAN MAANPAINE <sup>1)</sup>	TLEP (ks. EN 1991-2 NA 4.9.1 (1))	0,75	0,75	0,3
LUMIKUORMAT	Q <sub>sik</sub> (toteuttamisen aikana)	0,8	-	-
TOTEUTTAMISESTA AIHEUTUVAT KUORMAT	Q <sub>e</sub>	1,0	-	1,0

1) Liikennekuorman maanpaine:

-Kun siltakannella ei ole telikuormaa, käytetään gr1a:n telikuorman psi-arvoa (0,75/0,75/0)

-Kun siltakannella on telikuormaa, käytetään gr1a:n tasaisen kuorman psi-arvoa (0,4/0,4/0,3)

När man beräknar lastkombinationer i bruksgränstillstånd så beror värdet  $\psi$  på vilken variabel last som är primär last och om lasten är karakteristisk (characteristic), frekvent (frequent) eller halv permanent (quasi-permanent). Så i det fall att trafiklast fungerar som primär last så är bromskraften och sidolastens frekventa laster och bör beräknas med  $\psi_1$ . Vindlasten är sekundär last och beräknas med  $\psi_0$ . (EN 1990 och EN 1990/A1:2005)

Tabell 7. Lastkombinationer i bruksgränstillstånd (EN 1990 Appendix A kap. A2.4.1).

Combination	Permanent actions $G_d$		Prestress	Variable actions $Q_d$	
	Unfavourable	Favourable		Leading	Others
Characteristic	$G_{k,j,sup}$	$G_{k,j,inf}$	$P$	$Q_{k,1}$	$\psi_{0,i}Q_{k,i}$
Frequent	$G_{k,j,sup}$	$G_{k,j,inf}$	$P$	$\psi_{1,1}Q_{k,1}$	$\psi_{2,i}Q_{k,i}$
Quasi-permanent	$G_{k,j,sup}$	$G_{k,j,inf}$	$P$	$\psi_{2,1}Q_{k,1}$	$\psi_{2,i}Q_{k,i}$

Vid beräkning i brottgränstillstånd skall säkerhetsfaktorer användas. Variabla laster multipliceras med 1,5, vilket ger en säkerhet på 50 % och permanenta lasten multipliceras med 1,15, vilket ger en säkerhet på 15 %. (EN 1990 Appendix A kap. A.2.3.1)

### 5.4.2 Böjning och tryck

Böjning kontrolleras i två riktningar. Uttryck (14) och (15) skall uppfyllas.

$$(14) \quad \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$(15) \quad \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

Där:

$k_m$  faktor som är för limträ och massivt trä. Faktorn beror på om tvärsnittet är rektangulärt  $k_m = 0,7$  och övriga tvärsnitt  $k_m = 1,0$ .

$\sigma_{c,0,d}$  dimensionerande tryckspänningen [N/mm<sup>2</sup>].

$\sigma_{m,y,d}$  dimensionerade böjspänningen i y-led [N/mm<sup>2</sup>].

$\sigma_{m,z,d}$  dimensionerade böjspänningen i z-led [N/mm<sup>2</sup>].

$f_{c,0,d}$  dimensionerade tryckhållfastheten parallellt med fibrerna [N/mm<sup>2</sup>].

$f_{m,y,d}$  dimensionerade böjhållfastheten i y-led [N/mm<sup>2</sup>].

$f_{m,z,d}$  dimensionerade böjhållfastheten i z-led [N/mm<sup>2</sup>].

Böjmomentet beräknas först i y-led med den vertikala trafiklasten som primär last enligt formel (16). Balken blir upplagd på två stöd med böjmoment från egentyngd, trafiklast (ytlast och hjullast) och vind. Momentet från en hjulrad beräknas som två kopplade punktlaster. Beräkningen förklaras närmare i bilaga 1.

$$(16) \quad M_{yd} = \frac{q \cdot l^2}{8} + M_{hjul}$$

Där:

$M_{yd}$  är dimensionerande böjmomentet i y-led [kNm].

$q$  är linjelasten som uppkommer på broplattan [kN/m].

$l$  är spännvidden på bron [m].

$M_{hjul}$  är momentet som uppstår från hjullasten [kNm].

Den dimensionerade böjspänningen beräknas med formel (17).

$$(17) \quad \sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d} \cdot 6}{b_{ef} h^2}$$

Där:

$b_{ef}$  är effektiva bredden i y-led [mm].

$h$  är höjden i y-led [mm].

Den dimensionerade böjspänningen skall vara mindre än den dimensionerade böjhållfastheten, uttryck (18) skall uppfyllas.

$$(18) \quad \sigma_{m,y,d} < f_{m,y,d}$$

Böjmomentet räknas sedan i z-led. I det ledet beaktas vindlast och sidolast för en balk på två stöd. Det dimensionerande böjmomentet beräknas med formel (19).

$$(19) \quad M_{m,z,d} = \frac{q \cdot l^2}{8} + \frac{P \cdot l}{4}$$



Där:

$M_{m,z,d}$  är dimensionerande böjmomentet i z-led [kNm].

$q$  är linjelasten som uppkommer på broplattan [kN/m].

$l$  är brons spännvidd [m].

$P$  är sidolasten som uppkommer på broplattan [kN].

Böjspänningen beräknas på hela brobredden (formel 20).

$$(20) \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d} \cdot 6}{bh^2}$$

Där:

$b$  är bredden i z-led [mm].

$h$  är höjden i z-led [mm].

Likaså skall den dimensionerade böjspänningen vara lägre än böjhållfastheten, uttryck (21) skall uppfyllas.

$$(21) \quad \sigma_{m,z,d} < f_{m,z,d}$$

Den dimensionerande tryckkraften är kraften som uppkommer i längdriktning och beräknas enligt formel (22).

$$(22) \quad F_{c,0,d} = Q_{ld} + F_{wyd}$$

Där:

$F_{c,0,d}$  är den dimensionerande tryckkraften [kN].

Den dimensionerande tryckspänningen beräknas enligt formel (23) och uttryck (24) skall uppfyllas.

$$(23) \quad \sigma_{c,0,d} = \frac{F_{c,0,d}}{bh}$$

$$(24) \quad \sigma_{c,0,d} < k_{cy} \cdot f_{c,0,d}$$

Där:

$b$  är bredden i y-led [mm].

$h$  är höjden i y-led [mm].

### 5.4.3 Tvärkraft

Tvärkraften beräknas i ett led, där tvärkraften blir som störst, vilket är när lasterna påverkar i vertikal riktning. Tvärkrafterna i horisontell riktning bör granskas.

Enligt EN 1995-1-1 så skall vid beräkning av tvärkraft följande uttryck uppfyllas:

$$(25) \quad \tau_d < f_{vd}$$

Tvärkraftspåkänningen,  $\tau_d$ , beräknas enligt formel (27).

$$(26) \quad \tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{ED}}{b_{ef} h}$$

Där:

$\tau_d$  tvärkraftspåkänningen [N/mm<sup>2</sup>].

$V_{ED}$  tvärkraften från vertikala laster [N].

$b_{ef}$  effektiva bredden av lastspredningen [mm].

$h$  höjden på plattan [mm].

## 5.5 Beräkning i bruksgränstillstånd

### 5.5.1 Nedböjning

Enligt EN 1995-2 så skall en bro uppfylla kraven L/400 för en trafikerad vägbro med vanlig trafiklast. Nedböjningen beräknas i bruksgränstillstånd.

För att beräkna nedböjningen för en träbro används olika belastningsfall. För att beräkna nedböjningen på ytlasten används formel (27). (Rakennustieto, 2009, s. 104)

$$(27) \quad f = \frac{5 \cdot q \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I_{ef}}$$

Där:

$f$  nedböjningen för en balk på två stöd [mm].

$q$  vertikala trafiklasten i bruksgränstillstånd [N/mm].

$l$  spännvidden på balken [mm].

$E$  elasticitetsmodulen för materialet i balken [N/mm<sup>2</sup>].

$I_{ef}$  tröghetsmomentet för materialet i bron på den effektiva bredden [mm<sup>4</sup>].

Nedböjningen från lasterna av hjulen beräknas för en hjulrad, där den effektiva bredden,  $b_{ef}$ , används som bredd. Nedböjningen beräknas enligt formel (28) (Rakennustieto, 2009, s.104).

$$(28) \quad f = \frac{F \cdot l^2}{24 \cdot E \cdot I_{ef}} \left( 3 - 4 \frac{a^2}{l^2} \right)$$

Där:

$F$  hjullasten [N].

$l$  spännvidden [mm].

$a$  avståndet från stödet till punktlasten [mm].

$E$  elasticitetsmodulen för materialet [N/mm<sup>2</sup>].

$I_{ef}$  effektiva tröghetsmomentet [mm<sup>4</sup>].'

Tröghetsmomentet  $I_{ef}$  beräknas enligt formel (29).

$$(29) \quad I_{ef} = \frac{b_{ef} \cdot h^3}{12}$$

### 5.5.2 Vibrationer

För broar som fungerar som vägbroar ska vertikala svängningar vara högre än 5 Hz. Egenfrekvensen fås genom formel (30).

$$(30) \quad f_1 = \frac{\pi}{2 \cdot L^2} \cdot \sqrt{\frac{EI}{m}}$$

Där:

$f_1$  egenfrekvensen [Hz].

$L$  spännvidden på bron [m].

$E$  elasticitetsmodulen för materialet [N/m<sup>2</sup>].

$I$  tröghetsmomentet för materialet [m<sup>4</sup>].

$m$  massa per längdenhet [kg/m].

## 5.6 Spännkraft

Enligt EN 1995-2 bör spännkraften på stålstängerna vara så stor att även efter långtidsförluster, d.v.s. spännkraften reduceras med tiden, så är kraften så stor att det inte sker någon förskjutning mellan lamellerna. Uttrycket (31) skall uppfyllas.

$$(31) \quad F_{v,Ed} \leq \mu_d \sigma_{p,\min} h$$

Där:

$F_{v,Ed}$  dimensionerande tvärkraften per längdenhet orsakad av vertikala och horisontella laster [N/mm].

$\mu_d$  dimensioneringsvärde på friktionskoefficienten.

$\sigma_{p,min}$  minsta värdet på kvarstående tryckspänning från förspänningen [N/mm<sup>2</sup>].  
Får inte vara mindre än 0,35 N/mm<sup>2</sup>.

$h$  höjden på plattan [mm].

Friktionskoefficienten kan fås väljas från tabell 8.

Tabell 8. Friktionskoefficienten  $\mu_d$  (EN 1995-2 tabell 6.1).

Lamellien pinnan karheus	Kohtisuoraan syitä vastaan		Syiden suunnassa	
	Puun kosteus	Puun kosteus	Puun kosteus	Puun kosteus
	≤ 12 %	≥ 16 %	≤ 12 %	≥ 16 %
Sahapinta – sahapinta	0,30	0,45	0,23	0,35
Höyläpinta – höyläpinta	0,20	0,40	0,17	0,30
Sahapinta – höyläpinta	0,30	0,45	0,23	0,35
Puupinta – betoni	0,40	0,40	0,40	0,40

Förspänningen är normalt större än 0,35 N/mm<sup>2</sup> ifall den initiala förspänningen är 1,0 N/mm<sup>2</sup> och fuktkvoten inte är större än 16 %.

## 6 Beräkning

I arbetet dimensionerar jag en tvärspänd brobaneplatta som har en spännvidd på 16m. Brons fria bredd är 4,95m och belastas därför av ett körfält som är 3m. Plattan är uppbyggd av 30st. limträbalkar av dimensionen 165 x 900mm. Räcken är av stål och är 50 x 50mm och 1,2m höga och centrumavstånd mellan stolparna är 1,4m. Stålräcket bör beräknas och dimensioneras enligt finska trafikverkets regler. Plattan är av limträ i hållfasthetsklass GL32c. Bron har en asfaltbeläggning som läggs på en isoleringsmatta ovanpå limträplattan. Beläggningens tjocklek är 110mm.

Bron planeras åt Pedersöre kommun. Platsen där bron möjligtvis byggs är Näsebackavägen, 68690 Sundby, Finland. För tillfället finns en gammal järnvägsbro som fungerar som en vägbro på platsen, se figur 30, som inom några år bör bytas ut för att tyngre fordon också kan köra där.



Figur 30. Befintlig bro vid Näsebackavägen (©Öst, 2015).

Beräkningen är en riktgivande. För noggrannare beräkning bör FEM-beräkningsprogram användas.

## 6.1 Laster

I arbetet tar jag i beaktande laster som egentynghd, trafiklast och vindlast. Materialens egentynghd fås från kap. 5.1.1. Räckets egentynghd erhålls från ”Träbroar – konstruktion och dimensionering”.

### 6.1.1 Egentynghd

Egentynghden beräknades enligt kap 5.1.1.

Tabell 9. Egentynghder för bron i kN/m<sup>2</sup>.

EGENTYNGD			
Material	$h$	$\rho_{\text{material}}$	Egentynghd
	m	kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>2</sup>
Limträ (GL32c)	0,900	4	3,6
Beläggning	0,110	24	2,64
Räcke			0,1
<b>Total egentynghd, <math>G_k</math></b>			<b>6,34</b>

### 6.1.2 Vindlast

Vindlasten beräknas enligt kap 5.1.3.

#### Horisontella vindlasten

Först bestäms  $b/d_{tot}$ .

$$\frac{b}{d_{tot}} \rightarrow \frac{4,95 \text{ m}}{(1,2 \text{ m} + 0,900 \text{ m} + 0,11 \text{ m})} = 2,240$$

Konstaterar att  $b/d_{tot}$  är mellan 0,5 och 4. Då gäller följande formel:

$$C = 6,7 - 3,1 \left( \frac{\frac{b}{d_{tot}} - 0,5}{3,5} \right) \rightarrow 6,7 - 3,1 \left( \frac{2,24 - 0,5}{3,5} \right) = 5,16$$

$$F_{wx} = \frac{\rho}{2} \cdot v_b^2 \cdot C \cdot A_{ref,x}$$

$$\rightarrow \frac{1,25 \text{ kg/m}^3}{2} \cdot (23 \text{ m/s})^2 \cdot 5,16 \cdot (16 \text{ m} \cdot (1,2 \text{ m} + 0,900 \text{ m} + 0,11 \text{ m})) = 60,325 \text{ kN}; 3,77 \text{ kN/m}$$

#### Vertikala vindlasten

$c_e$  är 2,0 ifall  $z$  är 5m och klimatklassen är II.  $z$  är höjden från bron till terräng.

$$F_{wz} = \frac{\rho}{2} \cdot v_b^2 \cdot c_{fz} \cdot c_e \cdot A_{ref,z}$$

$$\rightarrow \frac{1,25 \text{ kg/m}^3}{2} \cdot (23 \text{ m/s})^2 \cdot 0,9 \cdot 2,0 \cdot (16 \text{ m} \cdot 4,95 \text{ m}) = 47,134 \text{ kN}; 0,595 \text{ kN/m}^2$$

#### Horisontell riktning längs bron

$$F_{wy} = 0,25 \cdot F_{wx} \rightarrow 0,25 \cdot 60,325 \text{ kN} = 15,08 \text{ kN}$$

### 6.1.3 Trafiklast

Trafiklasten beräknas utgående från lastmodell 1 i EN 1991-2. Se kap. 6.1.4

#### Vertikal trafiklast

Ytlast, lastfält 1

$$q_1 = \alpha_{q1} \cdot q_{1k} \rightarrow 1,0 \cdot 9 \text{ kN/m}^2 = 9 \text{ kN/m}^2$$

Ytlast, Återstående yta

$$q_r = \alpha_r \cdot q_{rk} \rightarrow 1,2 \cdot 3 \text{ kN/m}^2 = 3,6 \text{ kN/m}^2$$

Axellast

$$Q_1 = \alpha_1 \cdot Q_{1k} \rightarrow 1,0 \cdot 300 \text{ kN} = 300 \text{ kN}$$

#### Horisontell trafiklast

Bromskraften beräknas som en del av vertikala trafiklasten. Körfältets bredd,  $w$ , är 3m.

$$\begin{aligned} Q_{lk} &= 0,6 \cdot 2 \cdot \alpha_{Q1} \cdot Q_{1k} + 0,10 \cdot \alpha_{q1} \cdot q_{1k} \cdot w_1 \cdot L \\ &\rightarrow 0,6 \cdot 2 \cdot 300 \text{ kN} + 0,10 \cdot 9 \text{ kN/m}^2 \cdot 3 \text{ m} \cdot 16 \text{ m} = 360 \text{ kN} + 43,2 \text{ kN} = 403,2 \text{ kN} \end{aligned}$$

Sidokraften av sned inbromsning

$$Q_{trk} = 0,25 \cdot Q_{lk} \rightarrow 0,25 \cdot (360 \text{ kN} + 43,2 \text{ kN}) = 100,8 \text{ kN}$$

### 6.1.4 Dimensionerande laster

Lasten kombineras så att den vertikala trafiklasten blir primär last. Säkerhetsfaktor för egentyngd blir 1,15 och för variabel last 1,5.

#### Vertikalt

Egentyngd

$$1,15 \cdot G_k \rightarrow 1,15 \cdot 6,34 \text{ kN/m}^2 = 7,291 \text{ kN/m}^2$$



Vindlast

$$1,5 \cdot \psi_0 \cdot F_{wz} \rightarrow 1,5 \cdot 0,6 \cdot 0,595 \text{ kN/m}^2 = 0,536 \text{ kN/m}^2$$

Trafiklast

$$1,5 \cdot q_1 \rightarrow 1,5 \cdot 9 \text{ kN/m}^2 = 13,5 \text{ kN/m}^2 \text{ (Ytlast)}$$

$$1,5 \cdot Q_1 \rightarrow 1,5 \cdot 150 \text{ kN} = 225 \text{ kN} \text{ (Hjullast)}$$

### Horisontellt

Vindlast

$$1,5 \cdot \psi_0 \cdot F_{wx} \rightarrow 1,5 \cdot 0,6 \cdot 3,77 \text{ kN/m} = 3,393 \text{ kN/m} \text{ ( tvärs med bron)}$$

$$1,5 \cdot \psi_0 \cdot F_{wy} \rightarrow 1,5 \cdot 0,6 \cdot 15,08 \text{ kN} = 13,572 \text{ kN} \text{ (längs med bron)}$$

Trafiklast

$$1,5 \cdot \psi_1 \cdot Q_{trk} \rightarrow 1,5 \cdot (0,75 \cdot 0,25 \cdot 360 \text{ kN} + 0,4 \cdot 0,25 \cdot 43,2 \text{ kN}) = 107,73 \text{ kN} \text{ (tvärs med bron)}$$

$$1,5 \cdot \psi_1 \cdot Q_{lk} \rightarrow 1,5 \cdot (0,75 \cdot 360 \text{ kN} + 0,4 \cdot 43,2 \text{ kN}) = 430,92 \text{ kN} \text{ (längs med bron)}$$

## 6.2 Lastspridning

Lastspridningen beräknas enligt kap. 5.2.

Spridningsvinkel för beläggningen är 45° och för plattan 15°. Hjulets bredd är 0,4m och tillägget är 0,3m.

$$b_{w, \text{middle}} = \left( \tan(\beta_{bel.}) \cdot h_{bel.} + \tan(\beta_{pl.}) \cdot \frac{h}{2} \right) \cdot 2 + b_w$$

$$\rightarrow \left( \tan(45^\circ) \cdot 0,11 \text{ m} + \tan(15^\circ) \cdot \frac{0,900 \text{ m}}{2} \right) \cdot 2 + 0,4 \text{ m} = 0,861 \text{ m}$$

$$\text{Effektiv bredd} \rightarrow b_{ef} = b_{w, \text{middle}} + a \rightarrow 0,861 \text{ m} + 0,3 \text{ m} = 1,161 \text{ m}$$

Systemfaktorn  $k_{sys}$  beräknas för att kolla hur många lameller som blir belastade av en hjulrad:

$$\text{Lamellbredd} \rightarrow b_{lam} = 165 \text{ mm}$$

$$\text{Effektiv bredd} \rightarrow b_{ef} = 1161 \text{ mm}$$

$$\text{Systemfaktor} \rightarrow k_{sys} = \frac{b_{ef}}{b_{lam}} \rightarrow \frac{1161 \text{ mm}}{165 \text{ mm}} = 7,036 \text{ st. lameller belastas}$$

Ser man på figur 29 i kap. 5.3 kan man konstatera att  $k_{sys}$  blir 1,17 eftersom ca 7 lameller blir belastade och lamellerna är förspända ihop. Systemfaktorn multipliceras med böjnings- och tvärkraftshållfastheten.

### 6.3 Materialvärden

Materialvärden beräknas enligt kap. 5.3. Huvudriktningar x, y och z enligt figur 6.1 i EN 1995-1-1.

Den dimensionerande hållfastheten beräknas enligt:

$$X_d = \frac{k_{mod} \cdot X_k}{\gamma_M}$$

$k_{mod} = 0,8$  för limträ i klimatklass II och korttidslast.

$k_{mod} = 0,6$  för limträ i klimatklass II och permanent last.

$\gamma_M = 1,2$  för limträ.

Vid beräkning av dimensionerande böjnings- och tvärkraftshållfastheten används systemfaktorn  $k_{sys}$ .

Elasticitetsmoduler för GL32c (Liikennevirasto, 2013, s.25):

$$E_{mean} = 13700 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{0,05} = 11100 \text{ N/mm}^2$$

### 6.3.1 Böjning på högkant

$$f_{m,y,k} = 32 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{m,y,d} = \frac{1,17 \cdot 0,8 \cdot 32 \text{ N/mm}^2}{1,2} = 24,96 \text{ N/mm}^2$$

Böjhållfastheten multipliceras med  $k_{sys}$ . I det här fallet 1,17.

### Böjning på lågkant

$$f_{m,y,k} = 32 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{m,y,d} = \frac{1,17 \cdot 0,8 \cdot 32 \text{ N/mm}^2}{1,2} = 24,96 \text{ N/mm}^2$$

Böjhållfastheten multipliceras med  $k_{sys}$ . I det här fallet 1,17.

### 6.3.2 Tryck parallellt med fibrerna

$$f_{c,0,k} = 26,5 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,0,d} = \frac{0,8 \cdot 26,5 \text{ N/mm}^2}{1,2} = 17,667 \text{ N/mm}^2$$

### 6.3.3 Tryck tvärs med fibrerna

$$f_{c,90,k} = 3,0 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c,90,d} = \frac{0,8 \cdot 3,0 \text{ N/mm}^2}{1,2} = 2,0 \text{ N/mm}^2$$

### 6.3.4 Tvärkraftskapacitet

$$f_{vd} = \frac{1,17 \cdot 0,8 \cdot 3,2 \text{ N/mm}^2}{1,2} = 2,496 \text{ N/mm}^2$$

Tvärkraftskapaciteten multipliceras med  $k_{sys}$ . I det här fallet 1,17.

### 6.3.5 Knäckning

Det finns risk för knäckning eftersom konstruktionsdelar blir tryckta. Knäckningen beräknas enligt kap. 5.3.

$$\lambda_y = \frac{16 \text{ m}}{0,900 \text{ m}} \sqrt{12} = 61,584$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{61,584}{\pi} \sqrt{\frac{26,5 \text{ N/mm}^2}{11100 \text{ N/mm}^2}} = 0,958$$

Det kan konstateras att  $0,958 > 0,3$  och det finns risk för knäckning enligt uttryck (9). Därefter beräknas faktorerna  $k_y$  och  $k_{c,y}$  som senare används för att reducera tryckkapaciteten.  $\beta_c = 0,1$ .

$$k_y = 0,5(1 + 0,1(0,958 - 0,3) + 0,958^2) = 0,992$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{0,992 + \sqrt{0,992^2 - 0,958^2}} = 0,80$$

## 6.4 Beräkning i brottgränstillstånd

### 6.4.1 Böjning och tryck

Vid dimensionering beräknas endast en lastkombination och det är med den vertikala trafiklasten som primär last därför att det lastvärdet är högst. Vid beräkning av det dimensionerande böjmomentet beräknas egentyingden, trafiklasten (ytlast och hjullast) och vindlast för en balk upplagd på två stöd. Momentet för hjullasten är beräknat i bilaga 1.

Dimensionerande vertikalt böjmoment längs bron:

$$M_{m,y,d} = \frac{q \cdot l^2}{8} + M_{hjul,max}$$

$$\rightarrow \frac{1,161 \text{ m} \cdot (7,291 + 13,5 + 0,536) \text{ kN/m}^2 \cdot 16^2 \text{ m}}{8} + 1667,53 = 2459,87 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{2459,87 \cdot 10^6 \text{ Nmm} \cdot 6}{1161 \text{ mm} \cdot 900^2 \text{ mm}} = 15,694 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,y,d} < f_{m,y,d} \rightarrow 15,69 \text{ N/mm}^2 < 24,96 \text{ N/mm}^2 \text{ OK!}$$

Dimensionerande horisontellt böjmoment längs bron:

$$M_{z,d} = \frac{q \cdot l^2}{8} + \frac{P \cdot l^2}{4} \rightarrow \frac{3,393 \text{ kN/m} \cdot 16^2 \text{ m}}{8} + \frac{107,73 \text{ kN} \cdot 16 \text{ m}}{4} = 539,47 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{539,47 \cdot 10^6 \text{ Nmm} \cdot 6}{900 \text{ mm} \cdot 4950^2 \text{ mm}} = 0,147 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,z,d} < f_{m,z,d} \rightarrow 0,15 \text{ N/mm}^2 < 24,96 \text{ N/mm}^2 \text{ OK!}$$

Dimensionerande tryckkraft längs bron:

$$F_{c,0,d} = P_{Fwy} + P_{Qlk} \rightarrow 430,92 \text{ kN} + 13,572 \text{ kN} = 444,49 \text{ kN}$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{444,49 \cdot 10^3 \text{ N}}{4950 \text{ mm} \cdot 900 \text{ mm}} = 0,10 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{c,0,d} < k_{c,y} f_{c,0,d} \rightarrow 0,10 \text{ N/mm}^2 < 14,13 \text{ N/mm}^2 \text{ OK!}$$

Kontroll vid böjning i två riktningar samt tryckkraft med den vertikala trafiklasten som primär last. I och med det är ett rektangulärt tvärsnitt används  $K_m = 0,7$ :

$$\frac{0,10 \text{ N/mm}^2}{14,13 \text{ N/mm}^2} + \frac{15,69 \text{ N/mm}^2}{24,96 \text{ N/mm}^2} + 0,7 \cdot \frac{0,15 \text{ N/mm}^2}{24,96 \text{ N/mm}^2} = 0,65 \leq 1 \text{ OK!}$$

$$\frac{0,10 \text{ N/mm}^2}{14,13 \text{ N/mm}^2} + 0,7 \cdot \frac{15,69 \text{ N/mm}^2}{24,96 \text{ N/mm}^2} + \frac{0,15 \text{ N/mm}^2}{24,96 \text{ N/mm}^2} = 0,45 \leq 1 \text{ OK!}$$

#### 6.4.2 Tvärkraft

Den högsta tvärkraften har fått från bilaga 2.

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{603713 \text{ N}}{1161 \text{ mm} \cdot 900 \text{ mm}} = 0,867 \text{ N/mm}^2$$

$$0,867 \text{ N/mm}^2 < 2,456 \text{ N/mm}^2 \text{ OK!}$$

## 6.5 Beräkning i bruksgränstillstånd

### 6.5.1 Nedböjning

Nedböjningen beräknas enligt kap. 5.5.1. Kravet för nedböjningen med trafiklasten är:

$$\frac{16000 \text{ mm}}{400} = 40 \text{ mm}$$

Tröghetsmomentet sätts in direkt i nedböjningsformlerna.

Nedböjning för trafiklast, ytlast:

$$q = 1,161 \text{ m} \cdot 9 \text{ kN/m}^2 = 10,449 \text{ kN/m}$$

$$f_{ytlast} = \frac{5 \cdot 10,449 \text{ N/mm} \cdot 16000^4 \text{ mm} \cdot 12}{384 \cdot 13700 \text{ N/mm}^2 \cdot 1161 \text{ mm} \cdot 900^3 \text{ mm}} = 9,228 \text{ mm}$$

Nedböjning för trafiklast, hjullast:

$$f_{hjullast} = \frac{150000 \text{ N} \cdot 16000^2 \text{ mm} \cdot 7400 \text{ mm} \cdot 12}{24 \cdot 13700 \text{ N/mm}^2 \cdot 1161 \text{ mm} \cdot 900^3 \text{ mm}} \left( 3 - 4 \frac{7400^2 \text{ mm}}{16000^2 \text{ mm}} \right) = 26,276 \text{ mm}$$

Sammanlagda nedböjningen:

$$f_{tot.} = f_{ytlast} + f_{hjullast} = 9,228 \text{ mm} + 26,276 \text{ mm} = 35,504 \text{ mm} < 40 \text{ mm OK!}$$

### 6.5.2 Vibrationer

$$f_1 = \frac{\pi}{2 \cdot 16^2 \text{ m}} \cdot \sqrt{\frac{13700 \cdot 10^6 \text{ N/m} \cdot 12}{1817 \text{ kg/m} \cdot 4,950 \text{ m} \cdot 0,900^2 \text{ m}}} = 29,14 \text{ Hz} > 5 \text{ Hz OK!}$$

## 6.6 Spännkraft

Den största tvärkraften erhålls av den vertikala tvärkraften. Tvärkraften från horisontella krafter bör också granskas. Tvärkraften per längdenhet erhålls genom att dividera den maximala tvärkraften med spännvidden.

$$\frac{603713 \text{ N}}{16000 \text{ mm}} = 37,732 \text{ N/mm}$$

Friktionskoefficienten väljs enligt tabell 8 i kap. 5.6. Fuktkvoten är 12 % och materialet är gran och friktionen sker mellan hyvlat virke mot hyvlat virke. Spännkraften dimensioneras så att kraften överförs vinkelrätt med fibrerna.

$$\mu_d = 0,20$$

$$\mu_d \sigma_{p,\min} h \rightarrow 0,20 \cdot 0,35 \text{ N/mm}^2 \cdot 900 \text{ mm} = 63 \text{ N/mm}$$

Minsta tryckspänningen efter förspänningen är alltså 63N/mm vilket är större än 37,732 N/mm.

## 6.7 Resultat

I tabellen som följer har jag sammanfattat mina resultat så det lättare skall gå att jämföra mina svar. Jag har konstaterat att nedböjningen blev den dimensionerande faktor när jag beräknade bron.

Tabell 10. Sammanfattade resultat.

RESULTAT	Krav		Svar	Utnyttjande grad
Böjning och tryck	1	>	0,65	65 %
Tvärkraft	2,456N/mm <sup>2</sup>	>	0,867N/mm <sup>2</sup>	35,3 %
Nedböjning	40mm	>	35,504mm	88,76 %
Vibrationer	5Hz	<	29,14Hz	17,16 %
Spännkraft	63N/mm <sup>2</sup>	>	37,732N/mm <sup>2</sup>	59,89 %
Dimension på bro	30 st. 165 x 900mm			

Det kan konstateras att vibrationer inte påverkar plattan så mycket eftersom spännvidden ändå är så pass kort. Ser man på böjning och tryck så utnyttjas endast 65 % av brons kapacitet.

## **7 Avslutning**

Planering av en tvärspänd plattbro blir komplicerat i och med det är en platta som dimensioneras. Jag valde ändå att dimensionera en tvärspänd platta eftersom den passar ypperligt som vägbro som asfalteras. Som slutsats anser jag att slutresultatet varit lyckat. Bron som jag har dimensionerat kan jämföras med en tvärspänd plattbro i Sverige som har en spännvidd på 25m där plattans höjd är 1125mm. Min platta har en spännvidd på 16m och plattans höjd blev 900mm (TräGuiden, Svenskt Trä, u.å.).

Jag anser att examensarbetet varit mycket intressant och givande. Mina kunskaper i träkonstruktioner har blivit fördjupade. Genom att göra en så här grundlig utredning om träbroar så kan jag anse att området blev för stort. Genom att avgränsa arbetet ytterligare skulle jag kunnat gå ännu djupare kring ett ämne. Jag anser själv att träbroar har en framtid även som vägbro för tung trafik. God planering och bra skydd mot väder och vind är grundstenarna till att en träbro skall få en lång livslängd.



## KÄLLFÖRTECKNING

Arbets- och näringsministeriet, 2014. *Träbroar nytt marknadsområde för Finlands mekaniska träförädling*. [Online]

[http://www.tem.fi/sv/aktuellt/under\\_behandling/strategiska\\_projekt\\_och\\_spetsprojekt/strategiska\\_programmet\\_for\\_skogsbranschen/aktuellt/trabroar\\_nytt\\_marknadsomrade\\_for\\_finlands\\_mekaniska\\_traforadling.114022.news](http://www.tem.fi/sv/aktuellt/under_behandling/strategiska_projekt_och_spetsprojekt/strategiska_programmet_for_skogsbranschen/aktuellt/trabroar_nytt_marknadsomrade_for_finlands_mekaniska_traforadling.114022.news) [hämtat: 16.10.2014].

Auernitty, M, u.å. *Vihantasalmen puusilta*. Källa: Puuinfo

Carling, O, 2003. *Liimapuu – Käsikirja*. Sundsvall: Print & Media Center.

Dahlqvist, H, 2010. *Norge planerar världens längsta träbro*. [Online]

<http://www.nyteknik.se/nyheter/bygg/anlaggningsbyggen/article2504789.ece> [hämtat: 6.2.2015].

Egertz, B, 2002. Träbron – från stock till högteknologi. *Träinformation*, 16(4), s. 6-12.

Holmestad, Å, u.å. *Tynsetbron och Evenstadsbron*. ©Holmestad, Å

Langesten, B, 1989. *Byggkonstruktion 1 – Byggnadsstatik*. Stockholm: Liber

Liikenne- ja viestintäministeriö, 2015. *Kansallinen liite (LVM) SFS-EN 1990:2002/A1 (Liite A2) Rakenteiden suunnitteluperusteet: Muutos A1: Liite A2: Soveltaminen siltoihin*. [Online]

[http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/eurokoodit/finnish\\_na\\_en1990\\_a2\\_2015.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/eurokoodit/finnish_na_en1990_a2_2015.pdf) [hämtat: 13.2.2015]

Liikenne- ja viestintäministeriö, 2015. *Kansallinen liite (LVM) SFS-EN 1991-1-4. Rakenteiden kuormat: Tuulikuormat*. [Online]

[http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/eurokoodit/finnish\\_na\\_en1991\\_1\\_4.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/eurokoodit/finnish_na_en1991_1_4.pdf) [hämtat: 13.2.2015]

Liikennevirasto, 2010. *Tiesillat 1.1.2010 – Liikenneviraston tiesillaston rakenne, palvelutaso ja kunto*. [Online]

[http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lti\\_2010-03\\_tiesillat\\_1.1.2010\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lti_2010-03_tiesillat_1.1.2010_web.pdf) [hämtat: 13.2.2015]

Liikennevirasto, 2012. *Siltojen Kaiteet*. [Online]

[http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo\\_2012-25\\_siltojen\\_kaiteet\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo_2012-25_siltojen_kaiteet_web.pdf) [hämtat: 13.2.2015]

Liikennevirasto, 2013. *Eurokoodin soveltamisohje: Puurakenteiden suunnittelu – NCCI 5*. [Online]

[http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo\\_2013-25\\_ncci5\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lo_2013-25_ncci5_web.pdf)

[hämtat:13.2.2015]

Liikennevirasto, 2014. *Eurokoodin soveltamisohje Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI 1*. [Online]

[http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lo\\_2014-24\\_ncci1\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lo_2014-24_ncci1_web.pdf)

[hämtat: 13.2.2015]

Martinsons, u.å. *Träbroguiden*. [Online]

[http://www.martinsons.se/Allm%C3%A4n/Filer/Trabroar/Produktbroschyr\\_Tr%C3%A4broguiden.pdf](http://www.martinsons.se/Allm%C3%A4n/Filer/Trabroar/Produktbroschyr_Tr%C3%A4broguiden.pdf) [hämtat: 13.2.2015]

Nationalencyklopedin, 2015. *Akashi Kaikyo-bron*. [Online]

<http://www.ne.se/upplagsverk/encyklopedi/1%c3%a5ng/akashi-kaikyo-bron>

[hämtat:

20.2.2015]

Pousette, A, 2010. *Träbroar – Konstruktion och dimensionering*. U.o.: AB Stjärntryck.

Rakennustieto, 2009. *Rakentajain kalenteri*. U.o.: Gummerus Kirjapaino OY.

Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, 2006. *EUROKOODI. Rakenteiden suunnitteluperusteet*. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, 2002. *EUROKOODI 1. Rakenteiden kuormat. Osa 1-1:Yleiset kuormat. Tilavuuspainot, oma paino ja rakennusten hyötykuormat*. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, 2005. *EUROKOODI 1. Rakenteiden kuormat. Osa 1-4:Yleiset kuormat. Tuulikuormat*. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, 2004. *EUROKOODI 1. Rakenteiden kuormat. Osa 2:Siltojen liikennekuormat*. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, 2008. *EUROKOODI 5. Puurakenteiden suunnittelu. Osa 1-1:Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt*. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, 2008. *EUROKOODI 5. Puurakenteiden suunnittelu. Osa 2:Sillat*. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

TräGuiden, Svenskt Trä, u.å. *Träbroar*. [Online]

<http://www.traguiden.com/TGtemplates/PageTwoColumn.aspx?id=7005>

[hämtat: 21.10.2014]

## FIGURFÖRTECKNING

<i>Figur 1. Vihantasalmibron .....</i>	<i>2</i>
<i>Figur 2. Tynsetbron .....</i>	<i>3</i>
<i>Figur 3. Evenstadsbron .....</i>	<i>3</i>
<i>Figur 4. Sidoprofil av plattbro .....</i>	<i>6</i>
<i>Figur 5. Den tvärspända plattbrons uppbyggnad .....</i>	<i>6</i>
<i>Figur 6. Skärning av hamnbron i Mariestad, Sverige .....</i>	<i>7</i>
<i>Figur 7. Sidoprofil av balkbro .....</i>	<i>7</i>
<i>Figur 8. Skärning av balkbron i Skeppsvik, Sverige.....</i>	<i>8</i>
<i>Figur 9. Sidoprofil av fackverksbro.....</i>	<i>8</i>
<i>Figur 10. Skärning av fackverksbron i Storforsen, Sverige .....</i>	<i>8</i>
<i>Figur 11. Sidoprofil av hängverk .....</i>	<i>9</i>
<i>Figur 12. Exempel på hängverks- och sprängverksbroar .....</i>	<i>9</i>
<i>Figur 13. Sidoprofil (A) och Skärning (B) av hängverksbron i Sävar, Sverige .....</i>	<i>10</i>
<i>Figur 14. Sidoprofil av bågbro .....</i>	<i>11</i>
<i>Figur 15. Statiska system för bågbroar .....</i>	<i>11</i>
<i>Figur 16. Skärning av bågbroen i Skellefteå, Sverige.....</i>	<i>12</i>
<i>Figur 17. Övre figuren visar en hängbro och den nedre en snedtagsbro .....</i>	<i>12</i>
<i>Figur 18. Sidoprofil och skärning av snedtagsbron i Karlstad, Sverige .....</i>	<i>13</i>
<i>Figur 19. Skärning av tvärspänd plattbro med luftspalt och träpanel.....</i>	<i>15</i>
<i>Figur 20. Hur man täcker in en balk .....</i>	<i>16</i>
<i>Figur 21. Stålräcke och dess infästning .....</i>	<i>17</i>
<i>Figur 22. Uppbyggnad med asfaltsbeläggning .....</i>	<i>18</i>
<i>Figur 23. Fast lager för plattbro .....</i>	<i>19</i>
<i>Figur 24. Rörligt lager för plattbro.....</i>	<i>20</i>
<i>Figur 25. Beräkningsriktningar för vindlast på broar .....</i>	<i>22</i>
<i>Figur 26. Lastmodell 1 .....</i>	<i>24</i>
<i>Figur 27. Lastspridning i bron med koncentrerad last .....</i>	<i>26</i>
<i>Figur 28. Huvudriktningar för träbaserade produkter .....</i>	<i>27</i>
<i>Figur 29. Systemfaktor <math>k_{sys}</math> .....</i>	<i>28</i>
<i>Figur 30. Befintlig bro vid Näsebackavägen.....</i>	<i>38</i>

## TABELLFÖRTECKNING

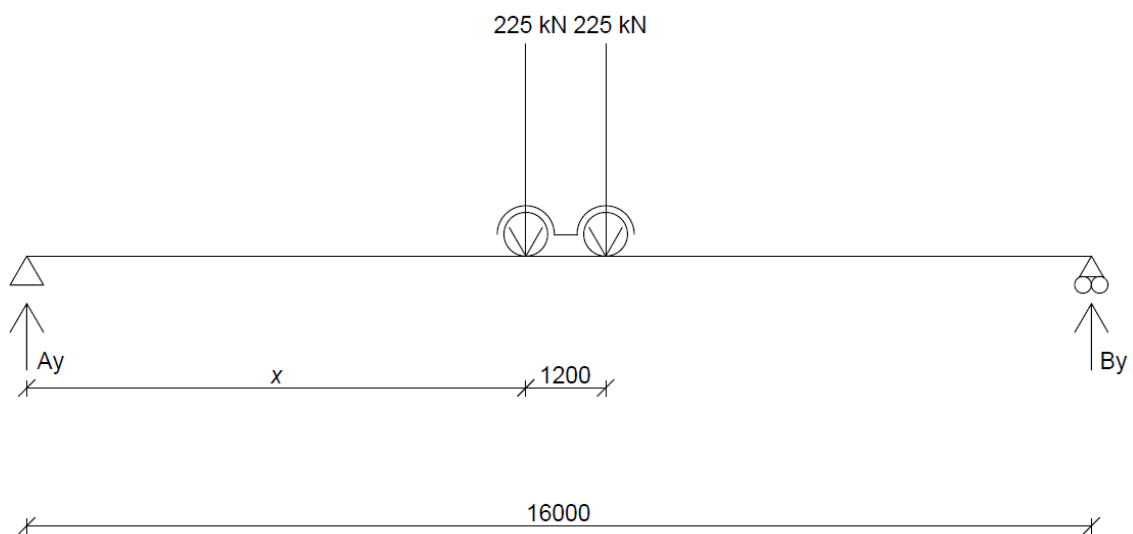
<i>Tabell 1. Antal broar byggda i Finland enligt år.....</i>	<i>4</i>
<i>Tabell 2. Antal broar i Finland den 1.1.2010.....</i>	<i>5</i>
<i>Tabell 3. Brobyggnadens egentyngder .....</i>	<i>21</i>
<i>Tabell 4. De olika lasterna för lastfälten till lastmodell 1 .....</i>	<i>25</i>
<i>Tabell 5. Karakteristiska värden för hållfastheter .....</i>	<i>28</i>
<i>Tabell 6. Kombinationsvärden .....</i>	<i>30</i>
<i>Tabell 7. Lastkombinationer i bruksgränstillstånd .....</i>	<i>31</i>
<i>Tabell 8. Friktionskoefficienten <math>\mu_d</math> .....</i>	<i>37</i>
<i>Tabell 9. Egentyngder för bron i kN/m<sup>2</sup>.....</i>	<i>38</i>
<i>Tabell 10. Sammanfattade resultat .....</i>	<i>47</i>

## BILAGA 1 - Momentberäkning

Beräkningarna för moment och tvärkraft baserar sig på boken "Byggnadsstatik" från 1989 av Bengt Langesten.

Bron är fritt upplagd på två stöd och belastas av både av rörligt kopplade punktlaster (hjullaster) och linjelaster (egentyngd, vindlast och ytlaster). I och med att den belastas av rörligt kopplade punktlaster så måste vi först ta reda på var på balken som punktlasterna bildar det största momentet (Langesten, 1989, s.209)

### Maximal moment av kopplade punktlaster



Farliga snittets läge måste vara vid den största kraften. Stödkraften vid  $A_y$  erhålls genom jämviktsekvationen där momentet kring B-stödet är noll.

$$\textcircled{B} \quad A_y \cdot 16 \text{ m} - 225 \text{ kN}(16 \text{ m} - x \text{ m}) - 225 \text{ kN}(14,8 \text{ m} - x \text{ m}) = 0$$

Där  $A_y$  blir:

$$A_y = 433,125 - 28,125x$$

Böjmomentet vid största kraften blir

$$M_x = (433,125 - 28,125x) \cdot x = 433,125x - 28,125x^2$$

Derivering ger:

$$\frac{dM_x}{dx} = 433,125 - 56,25x \rightarrow x = 7,7$$

Det maximala momentet sker alltså vid 7,7 m in från A stödet och blir:

$$M_{hjul, \max} = (433,125 \text{ kN} - 28,125 \text{ kN} \cdot 7,7 \text{ m}) \cdot 7,7 \text{ m} = 1667,53 \text{ kNm}$$

## BILAGA 2 -Tvärkraftsberäkning

Eftersom punktlasterna är kopplade har jag genom att använda statik tagit reda på genom att använda Excel var på balken som punktlasterna ger den högsta tvärkraften. Intervallet för punktlasterna är 1 mm. Av beräkningarna i Excel erhålls det största värdet när punktlasterna är närmast stöden. Ytlasterna påverkar också tvärkraften.

Tvärkraft från ytlasterna:

$$V_{ED,ytlast} = \frac{q \cdot l}{2} = \frac{1,161 \text{ m}(7,291 + 13,5 + 0,536) \text{ kN/m}^2 \cdot 16 \text{ m}}{2} = 170,616 \text{ kN}$$

Tvärkraft från en hjulrad:

$$B_y = \frac{225 \text{ kN} \cdot 0,001 \text{ m} + 225 \text{ kN} \cdot 1,201 \text{ m}}{16 \text{ m}} = 16,903 \text{ kN}$$

$$A_y = 450 \text{ kN} - 16,903 \text{ kN} = 433,097 \text{ kN}$$

$$V_{ED,hjullast} = 433,097 \text{ kN}$$

Sammanlagda tvärkraften:

$$V_{ED} = V_{ED,hjullast} + V_{ED,ytlast} \rightarrow 170,616 \text{ kN} + 433,097 \text{ kN} = 603,713 \text{ kN}$$

## **BILAGA 3 – Broritningar**

Bilagan innehåller 3 st. ritningar: en planritning, en sidoprofilsritning och en skärningsritning. Ritningarna baserar sig på en typritning jag har fått från Martinsons träbroar AB.



